

**EL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS EN PROFESORES DE CIENCIAS NATURALES,
DESDE EL ANÁLISIS DE SUS MODELOS MENTALES**

MARIELA ACOSTA DE LA HOZ

DISNEYLA ISABEL NAVARRO BOLAÑO

SILVIA ELENA NIETO CERA

CIELO ESTHER RAMÍREZ DÍAZ

Trabajo de investigación para optar por el título de Magister en Educación

DIRECTORA

Mg. JUDITH ARTETA VARGAS



FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE

MAESTRÍA EN EDUCACIÓN

BARRANQUILLA, ATLÁNTICO

2015

Nota de aceptación

Presidente

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos:

A Dios, por permitirnos incursionar en este proyecto y darnos la sabiduría necesaria para aprender, estructurar nuestros modelos mentales y revertirlo en nuestro quehacer diario.

A la Universidad del Norte, en especial al Dr. Joachim Hahn, por abrir la posibilidad de desarrollar este programa académico y poner a nuestra disposición los recursos humanos y materiales de la División de Ciencias Básicas, en coordinación con el IESE en pro de la renovación de nuestra misión y visión como profesionales de la educación de las nuevas generaciones.

A la Magister Judith Arteta Vargas, nuestra tutora, orientadora, amiga y maestra, por brindarnos sus oportunas apreciaciones y enseñanzas que nos han permitido crecer, tanto a nivel personal y profesional. En especial por su paciencia y su incondicional disposición.

A todos los profesores, en especial a José Aparicio, Abraham Sir, Marina Llanos y María Cristina Martínez, quienes a lo largo de la Maestría nos instruyeron y formaron en las diversas áreas del conocimiento y nos brindaron su respaldo y consejo oportuno.

A consultores externos, nacionales e internacionales; al Dr. Oscar Tamayo, Dr. Agustín Aduriz-Bravo, Dra. María Mercedes López y muy especialmente al Dr. Ángel López-Mota por su incondicional y oportuna orientación.

A las instituciones educativas y maestros participantes activos del estudio, por brindarnos su valioso aporte, lo cual hizo posible llevar a cabo esta investigación.

A nuestras familias por su amor, apoyo, comprensión y tiempo, lo cual se constituyó en el motor que permitió llevar a cabalidad nuestra investigación.

DEDICATORIAS

A Dios, papi Carlos, mami Lety, mis hijos Mario, Marce y Gaby, mi hermana Jacqui, y mis amigas y coequiperas Cielo, Disneyla y Silvia por su comprensión y constante respaldo en mi formación profesional.

Mariela Acosta

A Dios, a mis ángeles del cielo y del camino.

Disneyla Navarro

A Jesús de la Misericordia. A la memoria de mi padre, a mi madre luchadora incansable, y a mi segundo padre, ejemplos de rectitud y honestidad, a Wilson mi compañero y cómplice en la aventura de la vida. A mis hermanas y sobrinos, porque son ellos la energía que me impulsa a conseguir mis sueños.

Silvia Nieto

A Jesús Divino Maestro, a mis padres, hermanos y sobrinas, a mi ADN, Adriana, Daniel y mi pequeña Naty y a mi gran amor Mauricio.

Cielo Ramírez

“La docencia es una profesión emocionalmente apasionante, profundamente ética e intelectualmente exigente, cuya complejidad solamente es vivida por quienes solemos poner el cuerpo y el alma en el aula.”

Fullan, 1999

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 MODELOS MENTALES	7
3.1.2 ANTECEDENTES DE LA TEORÍA DE MODELOS MENTALES	8
3.1.3 ANTECEDENTES DE LA TEORÍA DE LOS MODELOS MENTALES EN EL CAMPO DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS	10
3.1.4 MODELOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES	13
3.1.5 MODELOS Y REPRESENTACIONES MULTIMODALES	17
3.1.6 MODELO ONEPSI.....	20
3.2 LA FOTOSÍNTESIS EN LAS PLANTAS SUPERIORES VERDES	24
3.2.2 PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOSÍNTESIS DE LAS PLANTAS VERDES	26
3.2.3 LOS CLOROPLASTOS	29
3.2.4 ABSORCIÓN DE LA LUZ: CLOROFILA	30
3.2.5 ETAPAS DE LA FOTOSÍNTESIS.....	31
3.2.6 DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS	33
3.2.7 CONSIDERACIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS	39
3.2.8 MODELO CIENTÍFICO ERUDITO DEL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS SUPERIORES VERDES	41
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	50
5. OBJETIVOS	53
a. OBJETIVO GENERAL	53
b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	53
6. METODOLOGÍA.....	54
6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	54
6.2 DISEÑO	56
6.3 PARTICIPANTES	58
6.4 TÉCNICAS	60
6.4.1 Análisis de contenido o representaciones multimodales	60

6.4.2	Aplicación de cuestionario conceptual con respuestas de selección múltiple.....	62
6.5	INSTRUMENTOS	62
6.6	PROCEDIMIENTO	66
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
7.1	CASO MARILUZ	70
7.1.1	Caracterización.....	70
7.1.2	Representación gráfica de la fotosíntesis	70
7.1.3	Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI.....	71
7.1.4	Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Mariluz con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis	73
7.1.5	Análisis del cuestionario	74
7.1.6	Alcances y limitaciones del modelo.....	75
7.2	CASO GREGORIO.....	78
7.2.1	Caracterización.....	78
7.2.2	Representación gráfica de la fotosíntesis	78
7.2.3	Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI.....	80
7.2.4	Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Gregorio con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis	84
7.2.5	Análisis del cuestionario	86
7.2.6	Alcances y limitaciones del modelo.....	87
7.3	CASO JORGE.....	90
7.3.1	Caracterización.....	90
7.3.2	Representación gráfica de la fotosíntesis	90
7.3.3	Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI.....	91
7.3.4	Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Jorge con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis	97
7.3.5	Análisis del cuestionario	99
7.3.6	Alcances y limitaciones del modelo.....	100
7.4	CASO ESTHER	102
7.4.1	Caracterización.....	102
7.4.2	Representación gráfica de la fotosíntesis	102
7.4.3	Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI...	105
7.4.4	Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Esther con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis	110

7.4.5	Análisis del cuestionario	113
7.4.6	Alcances y limitaciones del modelo.....	115
8.	CONCLUSIONES.....	117
9.	RECOMENDACIONES	121
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
<i>ANEXOS</i>		135

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Línea de tiempo del desarrollo del concepto de Modelo Mental	13
Figura3-2 Funcionamiento del proceso de construcción y reconstrucción de modelos metales, según el modelo ONEPSI.....	23
Figura 3-3 Descomposición de un haz de luz a través de un prisma	26
Figura 3-4 Espectro de absorción para varios pigmentos fotosintéticos y tasa de fotosíntesis	27
Figura 3-5 Cloroplasto y sus partes.....	30
Figura 3-6 Esquema global de la fotosíntesis.....	32
Figura 3-7 Línea de tiempo del desarrollo histórico del conocimiento de la fotosíntesis.....	34
Figura 6-1 Resumen del proceso metodológico llevado a cabo en la investigación.....	68
Figura 7-1 Representación gráfica 1. Caso Mariluz.....	70
Figura 7-2 Representación gráfica 2. Caso Gregorio.....	78
Figura 7-3 Representación gráfica 3. Caso Jorge.....	90
Figura 7-4 Representación gráfica 4. Caso Esther	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Investigadores en el campo de la didáctica de las ciencias que han aplicado la teoría de los modelos mentales	11
Tabla 3-2 Características similares entre las propuestas de Jhonson-Laird (1983) y Norman (1983)	20
Tabla 3-3 Características similares entre las propuestas de Jhonson-Lair (1983) y Norman (1983) teniendo en cuenta términos operativos	21
Tabla 3-4 Reseña del recorrido histórico del concepto fotosíntesis	35
Tabla 3-5 Modelo Científico sobre fotosíntesis en plantas superiores verdes	42
Tabla 6-1 Técnicas e instrumentos utilizados en la recolección de información	65
Tabla 7-1 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Mariluz	71
Tabla 7-2 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Mariluz	75
Tabla 7-3 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Gregorio	80
Tabla 7-4 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Gregorio	86
Tabla 7-5 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Jorge	93
Tabla 7-6 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Jorge	100
Tabla 7-7 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Esther	106
Tabla 7-8 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Esther	114

LISTA ANEXOS

Anexo I	Formato de transcripción de grabación de audio.....	135
IA	Transcripción de la grabación -Caso Mariluz.....	135
IB	Transcripción de la grabación -Caso Gregorio.....	136
IC	Transcripción de la grabación -Caso Jorge.....	137
ID	Transcripción de la grabación -Caso Esther.....	139
Anexo II	Contraste del Modelo Mental Explicativo (MME) del profesor con el Modelo Científico Erudito referenciado por el grupo investigador, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.....	140
IIA	Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia. Caso Mariluz.....	140
IIB	Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia. Caso Gregorio.....	142
IIC	Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia. Caso Jorge.....	147
IID	Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia. Caso Esther.....	152
Anexo III	Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis diligenciado en uno de los casos.....	158
Anexo IV	Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo científico Erudito.....	161
IVA	Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Mariluz.....	161
IVB	Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Gregorio.....	163
IVC	Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Jorge.....	166
IVD	Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Esther.....	167

INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge las actividades desarrolladas y los resultados encontrados en el marco de la investigación: **“Concepto Fotosíntesis en profesores de Ciencias Naturales, desde el análisis de sus modelos mentales”** adelantada como requisito para optar el título de Magister en Educación con énfasis en cognición otorgado por la Universidad del Norte.

La investigación gira en torno a varios ejes fundamentales que se mostrarán conforme se avance en el desarrollo del trabajo. Uno de ellos es la *teoría de los modelos mentales*, ésta propone diferentes formas de representar el pensamiento, definiéndolo cómo un conjunto coherente de creencias y conocimientos organizados en teorías implícitas, que sirven de marco de referencia en la construcción de explicaciones (Talanquer, 2014).

El segundo eje fundamental lo constituye el concepto fotosíntesis, definida como el proceso donde la materia inorgánica se transforma en materia orgánica, tomando como fuente de carbono el CO_2 presente en el aire. Es aquí donde se generan dos productos importantes para la vida de muchos seres vivos: la glucosa, fuente primaria de energía para las células y el oxígeno, utilizado por la mayoría de los organismos para la respiración celular. El proceso de fotosíntesis se logra como resultado de la transformación de la energía luminosa en energía química.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante abordar desde la básica primaria los conocimientos fundamentales del concepto fotosíntesis y en la educación media, lo referente a las reacciones químicas implícitas en éste, tal como lo establece el Ministerio de Educación Nacional en los estándares básicos de competencia para el área de Ciencias Naturales.

La investigación desarrollada es de corte cualitativa enfocada en la exploración y descripción de los modelos mentales de docentes que enseñan Ciencias Naturales en Básica Primaria (5º) y Educación Media (11º), específicamente en lo relacionado con el concepto fotosíntesis. La metodología, está basada en estudio de casos múltiples, de cuatro profesores del sector público, que laboran en las Localidades Norte-Centro Histórico y Sur-Occidente de la ciudad de Barranquilla, para lograr hacer explícito los modelos mentales de los profesores, se seleccionaron instrumentos de recolección de información, tales como: representación gráfica del concepto fotosíntesis, protocolo de pensamiento en voz alta y cuestionario con preguntas de selección múltiple de carácter conceptual sobre aspectos relevantes del concepto.

El estudio busca la descripción a profundidad de cada caso, con aproximaciones teóricas a partir del análisis de las fuentes de información, así como su triangulación, fundamentándose en el modelo ONEPSI aplicado en el análisis del modelo mental explicativo del docente y al modelo científico erudito del concepto fotosíntesis. Esto con el fin de hacer evidente el contraste entre entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia, mediante el uso de representaciones multimodales. Es importante mencionar que las entidades y propiedades que el docente utiliza para dar explicación al fenómeno hacen parte del constituyente ontológico del modelo. Las relaciones y reglas de inferencia que utiliza dentro del modelo se enmarcan en el constituyente epistemológico (Gutiérrez, 2001; López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014).

El trabajo se ha dividido en capítulos, que muestran el estudio descriptivo y exploratorio que se elaboró durante la investigación. En el primer capítulo se establecieron aspectos claves de la temática abordada. En el segundo capítulo se describe la relevancia y pertinencia de la investigación en el campo de la enseñanza. En el tercer capítulo se presenta el marco teórico fundamentado en el estudio de los modelos mentales y el proceso de fotosíntesis, desarrollando

una línea de tiempo para ambos conceptos, importantes para el desenvolvimiento de estrategias didácticas aplicadas al proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. El cuarto capítulo presenta el planteamiento del problema, seguido por el capítulo quinto donde se establecen los objetivos trazados que sirvieron de pautas orientadoras al proceso investigativo.

En el sexto capítulo se plantea el diseño metodológico adoptado para el desarrollo de la investigación el cual, bajo un enfoque cualitativo, señala el camino para la consecución de las metas propuestas. En el capítulo siete se realiza el análisis de la información obtenida a través de los instrumentos basados en el modelo científico erudito y en la aplicación del modelo ONEPSI al análisis de los registros.

Finalmente, se presentan los alcances e implicaciones de la investigación a través de las conclusiones y recomendaciones que surgieron del estudio, con los cuales se pretende dar paso a futuras investigaciones sobre los modelos mentales de los docentes.

2. JUSTIFICACIÓN

La noción de modelo científico, desde una perspectiva epistemológica, ha estado estrechamente ligada a la teoría en el desarrollo de las ciencias, pues es a través de la experimentación y la práctica donde se valida el conocimiento científico de dichos modelos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Sin embargo, las investigaciones que se vienen gestando en psicología del aprendizaje, ciencia cognitiva y didáctica de las ciencias, han demostrado que muchos de los modelos científicamente establecidos toman sus propias características al ser interiorizados por las personas que los usan. Es relevante, por tanto, tomar en cuenta el concepto de modelo para entender la dinámica de las representaciones que se hacen del mundo, tanto científicos como profesores y estudiantes (Izquierdo, Sanmartí, y Espinet, 1999).

Desde esta perspectiva, teniendo en cuenta que el profesor de ciencias naturales utiliza en sus clases modelos conceptuales ya contruidos para explicar la realidad, es imperante describir cómo son las representaciones o modelos mentales que el profesor construye a partir de los conceptos científicos. Ahora bien, el profesor enseña los modelos científicos esperando que el alumno construya modelos mentales que le permitan dar significados científicamente aceptados a esos modelos conceptuales, estos a su vez, deben tener correspondencia con los fenómenos naturales o sistemas modelados (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002).

La presente investigación se desarrolla con la intención de evidenciar y describir los modelos mentales del concepto fotosíntesis, en los profesores que enseñan Ciencias Naturales, pues se reconoce que este proceso forma parte de la estructura básica de otros conceptos, tales

como ecosistemas y ambiente, sin negar que pueden encontrarse otros conceptos biológicos asociados a estos, entre ellos célula, planta, respiración, nutrición, etc. (Garnica y Roa, 2012). Al respecto, Test y Weward (1980) consideran que éste concepto es de gran dificultad didáctica en la enseñanza de las ciencias.

En el campo educativo, ésta investigación es pertinente debido a que la enseñanza de la fotosíntesis se encuentra establecida en los estándares básicos de competencia para el área de Ciencias Naturales. Por ello, se desea determinar lo que ocurre específicamente en la mente de los profesores: ¿Cómo modelan el concepto fotosíntesis? ¿Cuáles son las entidades y propiedades que vinculan en sus modelos mentales? y ¿Cómo estos modelos pueden afectar o favorecer los procesos de enseñanza y aprendizaje dirigidos por los docentes?

Para poder entender qué es lo que ocurre en la mente del maestro, la psicología y las ciencias de la cognición destacan los modelos mentales como mecanismos para comprender la manera como se generan las representaciones mentales y una de esas posibilidades la ofrece la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983, 1990, 1993, 1996). Conocer los modelos mentales del maestro acerca del concepto fotosíntesis permite crear teorías y aportar a las investigaciones que sostienen que se aprende a partir de las representaciones del mundo que construimos en nuestras mentes, todo esto intentando descubrir cómo se llevan a cabo estas representaciones mentales y cómo influyen en los procesos de enseñanza aprendizaje de los conceptos científicos. (Moreira, 1997)

Ahora bien, el análisis histórico de la formación de los conceptos podría considerarse como sugerencia sobre los posibles modelos explicativos de los estudiantes con respecto a los procesos fotosintéticos. Al respecto, Cañal (2005) argumenta que con frecuencia se manifiestan analogismos, e ideas muy semejantes a las históricas, tal como aquellas que suponen que la raíz

es la boca de la planta por medio de la cual se toma y se absorbe el alimento, además que se encarga de captar el aire para respirar. De igual manera, a los estudiantes se les dificulta aceptar la concepción de la planta como un sistema químico.

Todas estas ideas parten de una concepción aristotélica basada en la evolución del concepto, por lo tanto no se considera la fotosíntesis como un proceso que se da como consecuencia de la transformación y conservación de la energía (Guzmán, Díaz y Rodiño, 2013). Sin embargo, se observa que en la mayoría de los libros escolares no se presenta la manera de cómo éste concepto se ha ido construyendo a lo largo de la historia, mostrando una simple definición, dejando de lado los distintos modos de construcción y validación de dicho conocimiento. Esto genera que los estudiantes desconozcan algunos aspectos de la energía y el reconocimiento de la misma como causa de otros fenómenos físicos, biológicos y químicos.

Otras limitantes al concepto fotosíntesis, es que está restringido sólo al reino vegetal y se ignora que hay otros organismos como algas verdes y algunas bacterias que también poseen clorofila y realizan fotosíntesis. A pesar de tratar los temas sobre organismos procariotas y eucariotas, a los estudiantes se le dificulta incorporar de forma significativa los nuevos conceptos, lo que evidencia que sus preconcepciones son muy arraigadas y los métodos utilizados por los profesores son poco eficientes para generar un cambio conceptual y un aprendizaje significativo (Sáenz, 2012).

A través de la presente investigación fue viable auscultar la mente de algunos profesores que enseñan Ciencias Naturales y estudiar sus modelos mentales con respecto al concepto fotosíntesis, con el fin de determinar las propiedades, relaciones y reglas de inferencia de las entidades que éstos utilizan para dar sus explicaciones.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MODELOS MENTALES

La manera cómo el ser humano ha construido el conocimiento, es una de las grandes inquietudes que afronta la Ciencia. La psicología cognitiva es una de las disciplinas que ha dedicado sus esfuerzos a la búsqueda de estas explicaciones, y al respecto se han adelantado algunas investigaciones que conllevan a conocer el proceso que involucra la constitución del conocimiento y la indagación del pensamiento humano, siendo muy diversas las concepciones y corrientes que han surgido en este sentido. Dentro de los diferentes constructos considerados como claves, para analizar el proceso de construcción del conocimiento, se encuentran los llamados modelos mentales.

La teoría de los modelos mentales está enmarcada en el campo de las ciencias cognitivas (Gardner, 1985), las cuales realizan un estudio interdisciplinario de la mente, abarcando la psicología cognitiva, lingüística, inteligencia artificial, neurociencia, filosofía y antropología cognitiva (Thagard, 1996, p. 10). La teoría de los modelos mentales, específicamente se desarrolla en el ámbito de la inteligencia artificial, como intento para superar limitaciones de la Teoría de los esquemas (Rumelhart y Ortony 1977), que surge como una posibilidad a los tipos de “representación” y “razonamiento” que permitían las arquitecturas de las máquinas que trabajaban sólo con memorias asociativas o conceptuales. Para Schank y Abelson (1977) los conceptos sólo tienen sentido dentro de un sistema o contexto del que adquieren su significado.

3.1.2 ANTECEDENTES DE LA TEORÍA DE MODELOS MENTALES

El término Modelos Mentales, comienza a ser abordado en el año 1927 cuando Georges-Henri Luquet, psicólogo francés, se dedicó a estudiar los dibujos infantiles, intentando interpretar el desarrollo de la comunicación, habló de “*modèle interne*” (modelos internos) en su obra “*Le Dessin Enfantin*”. Los Postulados de Luquet fueron tomados por Jean Piaget como fundamento de sus investigaciones sobre epistemología, genética y la teoría constructivista del desarrollo de la inteligencia.

En 1943, la expresión Modelos Mentales es utilizada por primera vez por el Psicólogo experimental Kenneth Craik, al argumentar en su obra, “*La naturaleza de la explicación*”, que los modelos de pensamiento o realidades paralelas no son proposiciones verbales, sino símbolos que sirve de ayuda al pensamiento y al cálculo. (Citado por Johnson-Laird, 1983).

De igual forma, Craik 1943, citado por Jhonson-Laird (1996), afirmó que si el organismo construye dentro de su cabeza un “*modelo a pequeña escala*” de la realidad externa y de sus posibles acciones sobre ella, entonces será capaz de poner a prueba varias alternativas, decidir cuál es la mejor de ellas, reaccionar a situaciones futuras antes de que surjan, utilizar el conocimiento de los acontecimientos pasados para tratar con el presente y el futuro y, en cualquier caso, reaccionar de una manera mucho más completa, sabia y competente ante las emergencias a las que se enfrenta.

El psicólogo inglés Jonhnsen-Laird (1983) en coherencia con el planteamiento anterior, presenta la Teoría de Modelos Mentales de razonamiento, expresando que son bloques cognitivos que se pueden combinar y recombinar de acuerdo a las circunstancias. El autor caracteriza entonces a los modelos mentales, como una representación interna de informaciones que corresponde análogamente a aquello que se está representando.

Para abordar el tema de los modelos mentales, es necesario adentrarse en la temática de las representaciones internas o representaciones mentales, definidas éstas como las diferentes maneras de “re-presentar” internamente el mundo externo (Moreira, 1997). Al respecto, Aparicio y Hoyos (2008), reconocen la necesidad de contar con una buena teoría representacional, pero de antemano suponen que el contenido de las representaciones estará fuertemente restringido por las prácticas culturales de los individuos, lo cual incide en sus modelos mentales.

Para Johnson-Laird (1983) las representaciones mentales pueden ser analógicas (imágenes), proposicionales (lenguaje) y los modelos mentales. Las representaciones analógicas son idiosincrasias específicas representadas de forma visual, olfativa, táctil, auditivas, entre otras (Tamayo, 2006). Las imágenes mentales están incluidas dentro de esta clasificación, sin embargo, Johnson-Laird (1996) lo toma como una perspectiva de modelo mental y en trabajos más recientes las desintegra, argumentando esta separación desde el carácter dinámico y cambiante que tienen los modelos mentales. Para este autor, las imágenes son el resultado de la imaginación o de la percepción, pues representan aspectos palpables de los objetos del mundo real.

Las representaciones proposicionales se caracterizan por ser abstractas y estar organizadas según ciertas reglas de combinación. Pueden ser expresiones falsas o verdades dichas verbalmente. *“Las representaciones proposicionales no son frases en un lenguaje determinado. Son entidades individuales y abstractas formuladas en un lenguaje propio de la mente”* (Moreira, 1997, p. 2).

Siguiendo la perspectiva de Johnson-Laird (1983), los modelos mentales por su parte son análogos estructurales de estados de cosas del mundo; comprender un fenómeno implica

tener un modelo mental que le permita al sujeto explicarlo, haciendo inferencias y predicciones con relación a éste. Se debe tener en cuenta que los modelos mentales no son completos, no obstante, son útiles porque permiten comprender una parte de la realidad.

Vosniadou (1994), citado por Tamayo (2013), afirma que los modelos mentales son representaciones dinámicas generativas que pueden ser manipuladas mentalmente para proveer explicaciones causales de fenómenos físicos y hacer previsiones sobre estado de cosas del mundo físico. Al respecto Johnson-Laird (1983) manifiesta que la representación mental es un modelo que estructura la realidad en distintos niveles de conocimiento, sin embargo, no son idénticos a ésta.

Es importante comentar que la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird, (1983, 1990, 1993, 1996) es la base para diferentes investigaciones en el campo de la didáctica de las ciencias, incluso para la presente investigación; es así como diferentes autores Gutiérrez (1994), Moreira, (1997), Amador (2006) y Tamayo (2013), entre otros, lo toman como sustento teórico para sus estudios.

3.1.3 ANTECEDENTES DE LA TEORÍA DE LOS MODELOS MENTALES EN EL CAMPO DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

A continuación se mostrarán algunas investigaciones en donde, a partir de la perspectiva de Johnson-Laird, la teoría de los modelos mentales es llevada a la didáctica de las ciencias, brindando aportes teóricos y conceptuales.

En 1994, Gutiérrez (España) en su tesis doctoral *“Coherencia del pensamiento espontaneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental”*, inicia sus estudios en el campo de los modelos mentales, aclarando que el propósito de un modelo mental es *“... facilitar al*

sujeto la comprensión de un sistema (físico y social) anticipando a su comportamiento” (p. 37).

Cabe anotar que las investigaciones de Gutiérrez giran en torno al constructo modelo mental; más adelante se profundizará con detalle sus aportes a la ciencia cognitiva y aún más a la didáctica de las ciencias.

En 1997, Moreira (Brasil), fundamentado en los postulados de Jhonson-Laird, sobre modelos mentales, realiza un amplio análisis de esta temática desde el campo de la educación, enfatizando en la enseñanza de las ciencias; resalta la importancia de los modelos mentales que realizan las personas para representar su modelo interno de la realidad externa, centra su estudio en el análisis de los modelos mentales desde conceptos científicos, y establece su importancia para el proceso de enseñanza/aprendizaje de las ciencias, tal como se presenta en Moreira y Rodríguez (2000); Moreira, Greca y Rodríguez (2002) y Moreira, Caballero y Rodríguez (2004).

Moreira (1997) resume varias investigaciones que se han llevado a cabo en torno al constructo de Modelo Mental en el plano educativo, mostradas en la Tabla 3.1.

Tabla 3-1 Investigadores en el campo de la didáctica de las ciencias que han aplicado la teoría de los modelos mentales

AÑO	INVESTIGADOR	APORTES A LA TEMÁTICA DE MODELOS MENTALES
1983	Gentner y Gentner	Realizó un estudio con 36 estudiantes de secundaria y novatos universitarios a los que se les plantearon temas y experiencias de circuitos eléctricos a partir de dos analogías, centrándose en el concepto de modelo mental, definiéndolo como un análogo estructural a un estado de cosas.
1983	Williams, Hollan y Stevens	Definen los modelos mentales como un conjunto de objetos autónomos y conectados. Esta investigación arrojó como resultado el establecimiento de una categorización de modelos mentales, sobre el tema de temperatura, utilizando como técnica la expresión del pensamiento en voz alta. Se enmarca este resultado en el modelo mecanicista expuesto por Kleer y Browne (1983).
1992	Gutiérrez y Ogborn	Tomaron el modelo mental mecanicista propuesto por Kleer y Brown (1983) para analizar protocolos relativos a fuerza y movimiento, trabajando con dos grupos. El primer grupo había tenido apenas una introducción elemental a la mecánica de Newton, mientras que el segundo ya había cursado esta asignatura. Los investigadores concluyeron que el modelo de Kleer y Brown es adecuado para describir el razonamiento causal en una amplia variedad de situaciones.

1994	Stella Vosniadou	Para la autora, los modelos mentales requieren una respuesta verbal, la estimulación a la realización de diseños y la construcción de modelos físicos.
1996	Harrison y Treagust	Realizaron una investigación en la que participaron 48 estudiantes de octavo a noveno grado. Se usa el término modelo mental para describir las interpretaciones que los estudiantes hicieron para los conceptos de átomos y moléculas.
1996-1997	Greca y Moreira	Su trabajo lo realizaron con 50 estudiantes universitarios, en el área de la física, sobre el concepto de electromagnetismo. La investigación se fundamentó en los postulados de Jhonson-Lair, demostrando que existen tres clases de representaciones mentales. Se utilizaron varias técnicas como la resolución de problemas, guías de laboratorio, trabajo en grupo, mapas conceptuales y modelos.

Fuente: Adaptación de Moreira (1997)

En los últimos años se han adelantado investigaciones, que también toman como fundamento el tema de los modelos mentales, tal es el caso del Doctor Oscar Tamayo (2002, 2006, 2009, 2011, 2013) quien fundamenta sus estudios en esta temática, aplicándolos a conceptos científicos, con el fin de determinar posibles obstáculos epistemológicos en el proceso enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Para Tamayo (2006) *“los modelos mentales son producidos por los individuos durante su funcionamiento cognitivo y tiene dentro de sus funciones principales el mantenimiento de la estructura del objeto o del fenómeno que supuestamente representa”* (p. 40).

En 2006, Amador en su Tesis titulada “Del modelo del flogisto al modelo de la oxidación: una aproximación didáctica a la determinación de modelos mentales en la formación de profesores en química”, enfatiza en la epistemología de las ciencias, estableciendo a través de su investigación una caracterización de los modelos mentales, sin embargo al reconocer que estos son externalizados, los define como Modelos Mentales Explicativos.

En la siguiente línea de tiempo se resumen los autores que han cimentado las bases para la teoría de los modelos mentales desde la ciencia cognitiva y los actuales didactas de la ciencia que la usan para sus investigaciones.



Figura 3-1 Línea de tiempo del desarrollo del concepto de Modelo Mental

3.1.4 MODELOS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES

En la actualidad, las preocupaciones en el campo educativo apuntan a la configuración de un modelo cognitivo de aprendizaje, basado en la perspectiva constructivista, en la que una persona construye su propio conocimiento a través del establecimiento de relaciones entre lo que ya sabe y la nueva información que adquiere en su interacción con el mundo (Chamizo y García, 2014). De esta manera, la mente va construyendo modelos que se formalizan y se fundamentan con base en la experiencia de cada sujeto.

La ciencia escolar concebida como cuerpo integrado de conceptos, procedimientos y actitudes propias de la ciencia con enunciados adaptados a la educación formal, se basa en el conocimiento científico, pero incorpora elementos del conocimiento cotidiano y otras formas organizacionales de la cultura social (Caamaño, Cañal, De pro y Pedrinaci, 2012), y los modelos mentales desarrollados en ésta área se pueden considerar una representación de una realidad compleja y desarrollada con la intención de facilitar el estudio del comportamiento de la misma (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2013; Oh y Oh, 2011).

Un modelo se entiende como la representación de un referente, que puede corresponder a varias entidades, objetos, fenómenos, procesos, ideas, o sistemas, “*pueden ser semejantes a esa porción del mundo que representan, generalmente más sencillos, pero no enteramente, de manera que se pueden derivar hipótesis (y/o predicciones) del mismo y someterlas a prueba*” (Chamizo y García, 2014, p. 85).

En este aspecto, es importante mencionar el planteamiento de Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2003), para ellos, lo que caracteriza a los científicos y científicas es la construcción de teorías, conformadas por modelos *teóricos* y por *dominios de fenómenos*; entre modelos y fenómenos se establecen relaciones sustantivas que se desarrollan gracias a la formulación de hipótesis, que son contrastadas con la realidad para poder ser aceptadas. Aparece entonces lo que Gómez (2005) llama *Modelos Científicos Eruditos*.

En este sentido, las maestras y maestros de Ciencias Naturales tienen a su disposición Modelos Científicos Eruditos pragmáticamente adecuados mediante la *transposición didáctica* para apoyar el proceso de enseñanza/aprendizaje de sus estudiantes (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). Los modelos contruidos en la escuela son llamados Modelos Teóricos Escolares, (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003) o Modelos Científicos Escolares (Gómez, 2005) y para efectos de la presente investigación, lo llamaremos Modelos Mentales Explicativos (MME).

Tanto los Modelos Científicos Eruditos, como los escolares y los MME, se detallan a continuación.

– ***MODELOS CIENTÍFICOS ERUDITOS***

La idea de que en la actividad científica se construyen modelos, apunta a una visión cognitiva de las ciencias, planteadas por Giere (1992a, 1992b), Carey (1992) y Nerssesian (1992) (Citados por Gómez, 2005).

Desde la visión cognitiva de la ciencia, Giere (citado por Gómez, 2005) plantea dos posturas, una realista y la otra naturalista. La primera considera que las representaciones tienen un referente directo en el mundo real, pues son imágenes que los científicos generan para explicar fenómenos de la realidad. Cabe destacar que esta imagen no es exacta, por tanto no es posible atribuirle el hecho de ser falsa o verdadera. La segunda postura indica que las teorías son aceptadas mediante un proceso natural en el que interviene el juicio individual y la interacción social.

En la presente investigación el concepto de modelos se enfocará desde la función semanticista de Giere (1992). La semántica, estudia la naturaleza y función de la relación entre la representación y la realidad representada; lo cual conlleva la atención hacia los referentes empíricos de lo que se busca representar y la verdad o falsedad de la hipótesis teórica en relación con éstos (Giere, 1999a y 1999b). Los modelos se consideran el centro de la parte aplicativa de una teoría y son vistos como “proyecciones” de la teoría al mundo, por lo que puede llamárseles sus “realizaciones posibles” (Gómez, 2013).

Es importante anotar que los científicos elaboran modelos teóricos de manera creativa e imaginativa para conseguir que muestren o sugieran las características "transversales" de determinadas agrupaciones de fenómenos (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999; Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009). Para Giere en coherencia con lo que Adúriz-Bravo e Izquierdo (2009) y Adúriz-Bravo (2013) manifiestan, un modelo teórico se relaciona con dos elementos: primero,

con un conjunto de recursos que lo definen y segundo, el sistema del mundo que pretende modelizar y con el que mantiene una relación de similitud.

Adúriz-Bravo e Izquierdo (2005) refieren que Giere (1999 a, b) señala que los científicos no solo interactúan con objetos, sino también con creaciones simbólicas propias, por ejemplo: enunciados, ecuaciones, gráficos, diagramas, fotografías, etcétera. Existen entonces diversas formas de acceder a las familias de modelos que constituyen la teoría (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2013). Para Adúriz- Bravo (2001) la actividad científica, desde la cual se constituyen los modelos científicos eruditos, pretende otorgar sentido en el mundo e intervenir en él. En esta actividad de dar sentido al mundo se va más allá de la mera comprensión de los fenómenos, dada que involucra aspectos epistémicos, cognitivos, praxeológicos y de semiótica; en este orden de ideas, serían aspectos del conocimiento en sí, de las representaciones mentales, de las acciones y de los sistemas de signos.

Adúriz-Bravo e Izquierdo (2009) plantean argumentos de interés para esta investigación cuando señalan: “Lo que da sentido a la actividad científica de naturaleza teórica, es la meta epistémica que se busca alcanzar; esto es, intervenir en los fenómenos, intentar comprenderlos y aprovecharlos para mejorar las condiciones de vida de la humanidad” (p.4) y en relación con la enseñanza de las ciencias: “Si los modelos son tan importantes en la construcción y comprensión del conocimiento científico deberían ser igualmente importantes en los procesos de enseñanza/aprendizaje de la ciencia, para lo cual sería necesario que los profesores contaran con un conocimiento tanto de los modelos en la ciencia como del proceso de modelaje” (Chamizo y García, 2014, p.81). Adicionalmente Galagovsky, Bekerman, y Di Giacomo (2014) señalan que los modelos científicos están en la mente de un experto (científico y/o docente),

siendo entonces un modelo mental experto, cuando estos comienzan a ser externalizados y comunicados, son llamados modelos científicos explícitos

Cabe anotar que en los modelos Científicos Eruditos se generan entidades abstractas y relaciones entre ellas con la finalidad de describir estructuras internas, composición o funcionamiento, de manera que pueda explicar algunas de las propiedades del sistema o fenómeno estudiado y generar predicciones de su comportamiento con la finalidad de intervenir en él (Gómez, 2005).

– **MODELOS TEÓRICOS ESCOLARES**

Para Gómez (2005) los Modelos Teóricos o Científicos Escolares son *“aquellos que se pretenden construir con los niños y niñas en las clases de ciencias, coherentes con los modelos científicos eruditos”* (p.20); sin embargo, la ciencia que se enseña y se aprende en la escuela no es una simple reducción de la ciencia erudita adaptada al nivel de los estudiantes, sino que posee todo un arsenal de etiquetas lingüísticas, conceptos y modelos propios y originales que funcionan como acceso de los educandos a las formas más altas de representación científicas (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

3.1.5 MODELOS Y REPRESENTACIONES MULTIMODALES

El concepto de modelo que se ha venido fundamentando es considerado por Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001) uno de los pilares meta-teóricos sobre los que se edifica la ciencia escolar. En este estudio, el enfoque de modelo se acentúa desde su aspecto representacional y en la visión semanticista de Giere (1992), sin dejar de lado el aspecto lingüístico. Los modelos hacen referencia, por relaciones de semejanza, a un fenómeno del mundo específico y se

vinculan a él a través de la hipótesis teórica, para comprenderlo, explicarlo y predecir su comportamiento (Gómez, 2005, 2013, 2014).

Los modelos se entienden como una trama de ideas organizadas y jerarquizadas, son abstractos y contruidos para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo (Gómez, Sanmartí y Pujol, 2007). Los modelos se componen de entidades que presentan ciertas relaciones entre sí y que tienen una estructura. Las entidades, sus propiedades y relaciones pueden organizarse produciendo nociones, definiciones, conceptos, generalizaciones confirmadas, leyes, hipótesis, metáforas, analogías, procesos o ecuaciones (Gómez, 2014), por lo tanto, una representación se constituye en la expresión materializada de un modelo, siendo un punto central en la transición de lo concreto a lo abstracto y viceversa (Sensevy et al, 2008).

Las entidades se definen como constructos conceptuales que actúan entre los límites de un modelo, son unidades operacionales que nos ayudan a pensar, actuar y comunicar (Gómez, 2014).

Los modelos científicos se convierten en una representación de los sistemas biológicos, físicos o químicos; estos sistemas son complejos por el número de entidades que maneja y lo intrincado de sus relaciones, haciendo que su estudio sea muy complejo y de difícil comprensión. Con base a esto, los científicos utilizan representaciones, las cuales funcionan como mediadores entre la teoría y el mundo empírico, facilitando el poder de representarlos e intervenir en la realidad (López-Mota y Moreno-Arcuri, 2014). Para explicar un modelo, se usa uno o varios registros semióticos (lenguaje natural, imagen, maqueta etc.) (Buckley, 2000) en palabras de Tamayo (2006) serían representaciones semióticas o representaciones multimodales para Gómez (2014). Cabe resaltar que el carácter multimodal se atribuye cuando de forma

coordinada se utilizan diversos modos semióticos para representar el conocimiento. (Kress, Charalampos, y Ogborn 2001).

En este orden de ideas, los modelos se conceptualizan como constructos abstractos (Gómez, 2014) lo que para la presente investigación sería Modelos Mentales (Johnson-Laird, 1983, 1996; Gutiérrez, 2001) y las representaciones como constructos concretos (Gómez, 2005, 2008, 2013, 2014). *“Los modelos abstractos generan diversas representaciones “externas” o “concretas”, como dibujos, conversaciones, maquetas, ecuaciones, etc., sin embargo, la relación entre modelo y representación es compleja y no causal directa”* (Gómez, 2014, p 52-53). Además, las representaciones intentan dar cuenta de las entidades y relaciones, así como las condiciones que permiten explicar y manipular un fenómeno natural (Gómez, 2014).

El uso de las representaciones ha generado un área de investigación llamada visualización, la cual consiste en actividades relacionadas con la imaginación visual y la llamada visualización externa (Gómez, 2013), que además de los aspectos cognitivos intrínsecos, subyace la importancia de establecer “Consensos y convencionalismos” (Gómez, 2014, p. 13) en la comunidad científica, que coadyuven en la comprensión de conceptos propios de la ciencia.

Siendo así, los modelos mentales son abstractos y generan diferentes formas de representaciones concretas, que permiten externalizar el pensamiento. En este estudio es pertinente el uso del lenguaje oral y de dibujos para materializar los modelos mentales de los docentes en torno al concepto fotosíntesis. Es importante precisar que para facilitar su comprensión se ha tomado como dispositivo teórico el modelo ONEPSI.

3.1.6 MODELO ONEPSI

Para la comprensión del modelo ONEPSI es necesario partir de su origen, introduciendo los aportes de la investigación de Jhonson-Laird (1983) y el estudio de Gentner y Steven (1983) citado por Gutiérrez (1994). Norman (1983) por su parte tiene en cuenta los planteamientos de Gentner y Steven y con base a esto orienta sus investigaciones. Al tener en cuenta el pensamiento de Johnson-Laird y Norman, es evidente las divergencias en algunos aspectos, como por ejemplo, para Johnson-Laird (1983) los modelos mentales son robustos y coherentes, Norman (1983) contradice estos supuestos, afirmando que no necesariamente son robustos, debido a que la predicción puede fallar si cambia el escenario y que no necesariamente son coherentes, porque pueden aparecer contradicciones al ejecutarse el modelo.

A pesar de las divergencias en las ideas de Johnson-Laird (1983) y Norman (1983) existen puntos en común que dan fuerza al concepto dentro de la ciencia cognitiva, comparación realizada por Gutiérrez (2005), la cual es presentada en la tabla 3-2.

Para Gutiérrez (1994, 2001, 2005, 2013) los puntos comunes, manifestado en las funciones y los elementos constitutivos de la tabla 3-2, se pueden analizar en términos operativos, para ser más explícito este aparte, se tendrá en cuenta el contenido de la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Características similares entre las propuestas de Jhonson-Laird (1983) y Norman (1983)

<i>FUNCIONES</i>	<i>ELEMENTOS CONSTITUTIVOS</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Explicar el comportamiento del sistema físico modelizado. 2. Predecir futuros comportamientos del sistema físico modelizado 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Una representación del sistema físico o “estado del mundo” que se quiere modelizar. 2. Una primera representación, derivada de la anterior, está dotada de un sistema de inferencia que permite la predicción de futuros estados del sistema que se está modelizando. 3. La segunda representación se puede ejecutar mentalmente, de manera que se puede comparar esta ejecución mental con el comportamiento del sistema “real” modelizado si éste se pone en funcionamiento.
<i>OTRAS CARACTERÍSTICAS COMUNES</i>	

-
- Los modelos mentales pertenecen al ámbito de los conocimientos implícitos (no están en el ámbito de la conciencia explícita del usuario)
 - Los modelos mentales no son completos (no contienen todos los elementos del sistema que quieren representar, sino sólo los que son útiles para el propósito del usuario)
-

Fuente: (Gutiérrez, 2005)

Tabla 3-3 Características similares entre las propuestas de Jhonson-Lair (1983) y Norman (1983) teniendo en cuenta términos operativos

SISTEMA FÍSICO	
<i>Primera representación: Ontología</i>	<i>Segunda representación: Epistemología</i>
La primera representación constituye una ontología del sistema que se quiere modelizar, dada según el sistema de creencias e intereses del sujeto en la utilización del modelo.	La segunda representación tiene en cuenta la inferencia, permitiendo la predicción y la explicación. El usuario del modelo busca las explicaciones más certeras, por lo que manejará una epistemología implícita, que le proporcionará “criterios de verdad” para validar esas explicaciones.

Fuente: (Gutiérrez, 2005)

Además de esta primera y segunda representación, existe un tercer elemento el cual permite la comparación entre el comportamiento del sistema físico o “real” que se está modelizando y la simulación en la mente del modelo construido, aspecto esencial dentro de los modelos mentales. Es imperativo traer a colación el planteamiento de Moreira (1997) quien afirma: *“Los modelos mentales son, por lo tanto, una forma de representación analógica del conocimiento: existe una correspondencia directa entre entidades y relaciones presentes en la estructura de esa representación y las entidades y relaciones que se quieren representar”* (p. 5).

Lo anterior se define como un proceso mental en el que *“Primero se recogen las entidades y propiedades que creemos útiles para explicar el funcionamiento del sistema, posteriormente se intentan conectar causas y efectos de manera coherente, y finalmente se ejecuta el modelo para comprobar su funcionamiento y ver si coincide o no con la realidad”* (Aliberas, Izquierdo y Gutiérrez, 2013, p. 77).

Desde esta perspectiva, subyacen constituyentes básicos de los modelos mentales; en la primera representación existen propiedades, las cuales son asignadas a ciertas entidades y en la segunda representación éstas entidades se relacionan entre sí en una trama conceptual que se involucran en una relación causa-efecto, en donde es posible inferir aspectos intrínsecos de los modelos mentales. En este orden de ideas, las entidades y propiedades por estar en la primera representación del modelo se convierten en el constituyente *Ontológico* y la segunda representación en donde se involucran relaciones de las entidades son el constituyente *Epistemológico* del modelo.

Es importante tener claro que las entidades son “unidades operacionales utilizadas para pensar, comunicar y actuar; son constructos conceptuales que se caracterizan por su comportamiento dentro de los límites del modelo y a veces también por su estructura” (Gómez, 2014, p. 52). Las propiedades, conceptualizadas como predicados, se definen como rasgo, atributo o característica que posee algún objeto, ya sea conceptual o material (Bunge, 2001). Las propiedades asignadas a las entidades determinan la primera versión del modelo mental que se está manifestando, en términos de Gutiérrez (2001) es el constituyente ontológico del modelo. Desde esta perspectiva se considera entonces, que el razonamiento humano está fuertemente influenciado por las categorías explícitas o implícitas asignadas a los objetos y procesos que forman parte del sistema de interés (Chi, 2008).

Las relaciones e inferencias evidenciadas en el modelo mental del sujeto, además de ser el constituyente epistemológico, dan cuenta del modelo mental hacia donde se está enfocando el sujeto. Se resalta que la mayoría de las propiedades (intrínsecas y relacionales) de las cosas reales se conceptualizan como relaciones y, en particular, como funciones; esto de acuerdo a lo citado por Bunge (2001). En cuanto a las reglas de inferencia, se aclara que todo sistema de

lógica consiste en un conjunto de axiomas más un conjunto de reglas, sin las cuales nada puede deducirse, siendo esto la relación sustancial causa-efecto, inferida a partir de las relaciones y propiedades atribuidas a las entidades.

Existe otro constituyente anexo a los anteriores, en el que se involucran aspectos emocionales inmersos en cada sujeto y por ende, en cada modelo mental que se externalice. Éste es el constituyente *Psicológico* del modelo, sin embargo este componente del modelo, no es de interés para la presente investigación.

En resumen, para Gutiérrez (2001) los modelos mentales recogen condicionantes Ontológicos, Epistemológicos y Psicológicos, los cuales son resumidos en el llamado MODELO ONEPSI, el nombre proviene de las letras iniciales de los constituyentes antes mencionados.

En la siguiente figura se ilustra de forma clara los aspectos intrínsecos al modelo ONEPSI.

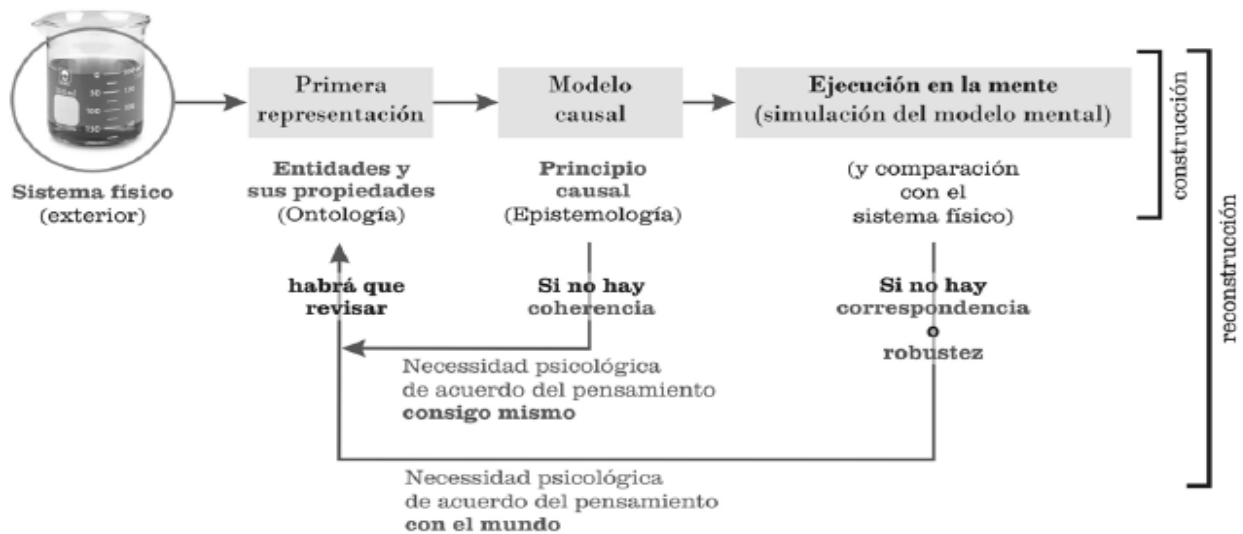
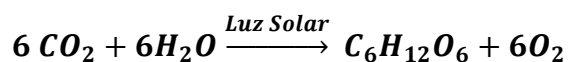


Figura3-2 Funcionamiento del proceso de construcción y reconstrucción de modelos mentales, según el modelo ONEPSI.

Fuente: (Aliberas, Izquierdo y Gutiérrez, 2013)

3.2 LA FOTOSÍNTESIS EN LAS PLANTAS SUPERIORES VERDES

La fotosíntesis, al igual que la respiración celular, es un proceso de óxido-reducción (redox) que ocurre en los organismos que poseen ciertos organelos llamados cloroplastos. Este es un proceso endergónico, en el cual se utiliza parte de la energía de reducción del dióxido de carbono para formar glucosa. La energía lumínica es capturada por los organismos capaz de fotosintetizar, quienes la usan para formar compuestos orgánicos y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y agua, en una serie de reacciones químicas. En la fotosíntesis, la energía lumínica se convierte en energía química y el carbono se fija en carbohidratos, tal como se muestra en la siguiente ecuación. (Curtis y Barnes, 2001):



La importancia de la fotosíntesis representa un bien para el organismo fotosintético, tal como lo asegura Cañal (2005) al referirse a la glucosa: “...*las sustancias orgánicas son utilizadas en la respiración celular para obtener energía y también para la construcción y reconstrucción de las estructuras del individuo*”.

Este proceso, es de gran importancia desde el punto de vista químico, en la transformación de la energía luminosa en energía de enlace; desde el punto de vista biológico, en que casi toda la biomasa de la biosfera deriva de ella; desde el punto de vista ecológico, en su efecto sobre los cambios climáticos; desde el punto de vista económico, como fuente de alimentación y materia prima para la industria; y desde el punto de vista evolutivo, como factor determinante en la formación de la vida tal y como la conocemos actualmente. (González, 1998).

Autores como Barceló et. al. (1983) establecen la relevancia de la fotosíntesis afirmando que es importante para el hombre, pues por medio de ella se producen alimentos y oxígeno.

Pero además, de forma directa o indirecta, ella alimenta a casi la totalidad del mundo vivo en el planeta (Campbell y Reece, 2005).

El primer organismo fotosintético surgió, probablemente, hace tres mil quinientos millones de años. Ante la aparición de las primeras células capaces de realizar fotosíntesis, las características físicas de la Tierra y de una nueva atmósfera rica en oxígeno moldearon el curso de la selección natural. Este cambio permitió la evolución de formas de vida para quienes el oxígeno no era tóxico y desde allí, el planeta sigue dependiendo de la fotosíntesis tanto desde el punto de vista del oxígeno para respirar, como de las moléculas orgánicas para la alimentación (Curtis y Barnes, 2001).

El presente estudio se enfoca en el proceso antes descrito teniendo en cuenta que es realizado por las plantas superiores verdes. Sin embargo, es necesario aclarar que este grupo de fotoautótrofos incluye a las algas eucariotas, varios protistas flagelados y miembros de varios grupos de procariotas (Berg et al, 2012).

Las plantas verdes pertenecen al reino vegetal y son una parte esencial del funcionamiento de la vida de nuestro planeta, gracias a su participación en el ciclo del carbono. En las ciencias, el inicio del conocimiento sobre el proceso de la fotosíntesis se muestra a través de estos organismos autótrofos y es en ellos donde la mayor parte de los estudios de investigación en términos de nutrición vegetal se presentan. Las plantas o también llamados productores primarios, producen materia orgánica a partir de compuestos inorgánicos como el H_2O , el CO_2 del aire y las sales minerales, empleando la energía de la luz. Éstas disponen de órganos y estructuras que permiten la absorción y el transporte de estos compuestos con el fin de poder transferirlos al medio que la rodea (Stern y Roseman, 2004).

3.2.2 PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOSÍNTESIS DE LAS PLANTAS VERDES

Durante la fotosíntesis, la clorofila atrapa la energía de la luz solar y la utiliza para producir ATP. Posteriormente, la energía contenida en el ATP se utiliza en las reacciones de producción de carbohidratos de alto contenido energético. Las principales materias primas utilizadas en la fotosíntesis son el agua y el dióxido de carbono, utilizando la energía que las moléculas de clorofila atrapan de la luz solar, el agua se hidroliza, el oxígeno se libera y el hidrógeno se combina con el dióxido de carbono para formar moléculas de carbohidratos (Villée, Solomon y Davis, 1992).

A continuación se presentan algunas consideraciones sobre los factores significativos en el proceso de la fotosíntesis en plantas verdes:

a) FACTORES AMBIENTALES:

Radiación fotosintéticamente activa: La luz blanca se separa en sus colores componentes cuando pasa a través de un prisma. Maxwell demostró que la luz visible es apenas una diminuta banda de un espectro continuo. Desde el punto de vista físico, la diferencia entre las radiaciones que el ojo humano puede ver y las que no, es solamente de unos pocos nanómetros de longitud de onda o una pequeña cantidad de energía (Curtis y Barnes, 2001).

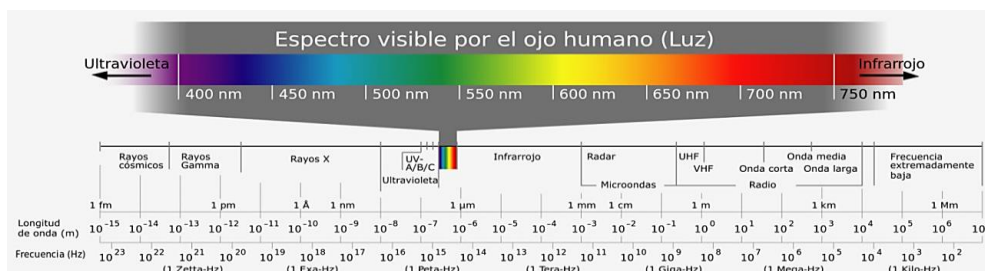


Figura 3-3 Descomposición de un haz de luz a través de un prisma
Tomado de: <http://www.revistaentrelneas.es/31/entretemas/iluminarte>

En el caso de la fotosíntesis la absorción de la luz corresponde al espectro de la luz blanca visible, siendo la captación de la energía de la luz, la clave de esta reacción, tal como lo enuncia Berg (2012).

Un mol de fotones con longitud de onda de 680 nm, para la fotosíntesis, contiene alrededor de 42 kcal de energía, que equivale al cambio en el potencial redox; cuando una molécula absorbe un fotón, el electrón se vuelve bastante energético para trasladarse de un orbital interno a uno externo, se dice que la molécula cambió de un estado basal al estado de excitación. En la fotosíntesis, la molécula química más importante que absorbe luz es el pigmento clorofila, la cual es llamada molécula fotorreceptora (Karp, 2011).

Algunos pigmentos absorben luz de todas las longitudes de ondas, por ejemplo, clorofila, el pigmento que hace que las hojas sean verdes, absorbe luz en la longitud de onda violeta, azul y roja dado que refleja la luz verde. El patrón de absorción de un pigmento se conoce como espectro de absorción de esa sustancia (Curtis y Barnes, 2001).

A continuación se presenta el espectro de absorción para varios pigmentos fotosintéticos de plantas superiores. Se observa que según el porcentaje del espectro de acción de la fotosíntesis, ésta tiene una mayor efectividad cuando la longitud de onda de la luz que se absorbe está entre 390-500 nm (Clorofila b) y 650-740 nm (Clorofila a).

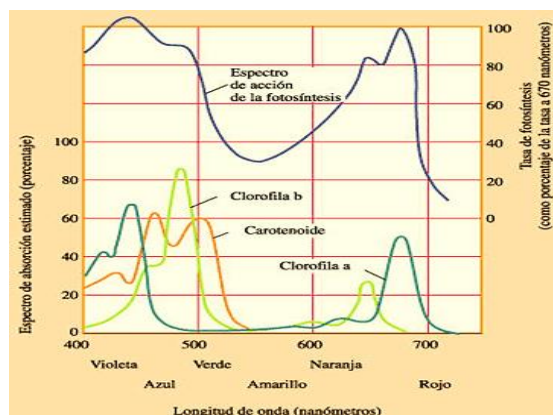


Figura 3-4 Espectro de absorción para varios pigmentos fotosintéticos y tasa de fotosíntesis
Fuente: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap02/02_07.htm

La temperatura: Tiene una influencia directa en la fotosíntesis por su control en la actividad de varias enzimas. Indirectamente, afecta a la fotosíntesis mediante la influencia en la tasa de difusión del CO_2 , movimientos estomáticos, transporte de asimilados, etc. Por lo general, temperaturas superiores a 40 °C producen la inactivación de las enzimas lo que provoca una disminución en la fotosíntesis (González, 1998).

El dióxido de carbono (CO_2): La cantidad de CO_2 en el ambiente es determinante del rendimiento de la reacción; sin este gas la síntesis de carbohidratos no fuera posible. Sin embargo, es importante aclarar que, a pesar de la falta de este compuesto inorgánico, algunas de las reacciones de la fotosíntesis pueden llevarse a cabo (Salisbury y Ross, 1994; citado por Sáenz, 2012). González (1998) menciona: *“Cuando la concentración de CO_2 aumenta, las plantas aumentan su fotosíntesis”*.

El Agua (H_2O): Catalogado como el disolvente universal, el agua es un compuesto químico formado por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Forma parte de la materia viva en grandes proporciones. En las plantas superiores el agua transporta materia orgánica y sales minerales que viajan desde las raíces a todas las partes de la planta. Además de ser materia prima en el proceso fotosintético, el agua contribuye como reactivo en varias reacciones metabólicas. Los iones que forma la molécula de agua (H) y (OH), se ensamblan y recombinan en nuevas moléculas de agua, es entonces, capaz de romperse en sus componentes por impacto de un fotón y ceder sus protones (H^+) para reducir el NADP (Cogua, 2011; citado por Sáenz, 2012).

Los macro y micronutrientes del suelo: La deficiencia de macro y micronutrientes, así como la falta de equilibrio en el balance de nutrientes, produce una

disminución en la tasa de fotosíntesis. El efecto de la nutrición mineral sobre la fotosíntesis es complejo y puede ser debido a efectos directos o indirectos. Esta desnutrición puede causar una disminución en la síntesis de clorofila, disminución en la capacidad del transporte electrónico fotosintético, disminución en la actividad de carboxilación y de otras enzimas, descenso de la conductancia estomática y aumento en los procesos respiratorios (Kozlowsky y Pallardy, 1997, citados por González, 1998).

3.2.3 LOS CLOROPLASTOS

Los organelos celulares donde ocurre la fotosíntesis son los cloroplastos, los cuales se originan a partir de estructuras conocidas como protoplastidios. El tamaño y la forma de estos organelos varían a medida que la célula se va desarrollando.

Los cloroplastos se encuentran envueltos por un juego doble de membranas controladoras del tránsito hacia afuera y hacia adentro de las moléculas. Internamente, los cloroplastos están constituidos por un material gelatinoso rico en enzimas denominado estroma, es aquí donde ocurre la reacción de conversión del dióxido de carbono en carbohidratos. Así mismo, estos organelos poseen membranas laminares y en forma de sacos cerrados aplanados, como vesículas, llamados tilacoides. Los tilacoides forman pilas denominadas grana, que están comunicados entre sí por otros tilacoides de forma más alargada, en las membranas tilacoidales están las clorofilas y otros pigmentos que participan en la absorción de la luz, enzimas para el transporte de electrones y el factor de acoplamiento para la formación de ATP. Los principales pigmentos presentes en las membranas tilacoides son la clorofila a y la clorofila b, como también los carotenos y xantofilas (Salisbury y Ross, 1994).

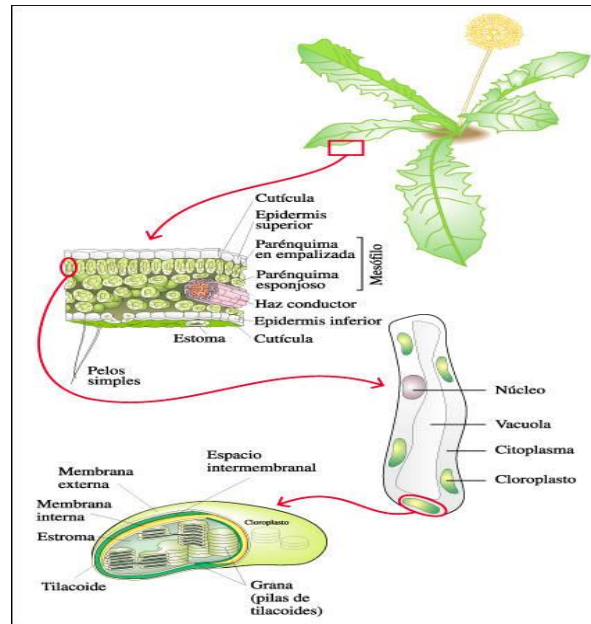


Figura 3-5 Cloroplasto y sus partes.
Fuente: (Curtis y Barnes, 2001)

3.2.4 ABSORCIÓN DE LA LUZ: CLOROFILA

Los pigmentos son sustancias que absorben la luz visible. **La clorofila**, el principal pigmento de la fotosíntesis, absorbe luz en las regiones azul, violeta y roja del espectro; la luz verde la reflejan las plantas, fenómeno que le otorga el color verde a sus hojas. Las moléculas de clorofila están formadas por átomos de carbono y nitrógeno, unidos a un complejo anillo de porfina, en el centro de dicho anillo se encuentra un átomo de magnesio, el cual está unido a dos de los cuatro átomos de nitrógeno. La clorofila tiene un largo extremo hidrofóbico, el cual lo une a la membrana tilacoide, esta prolongación se compone de fitol, un alcohol de cadena larga que contiene veinte átomos de carbono. Gracias a su estructura, las moléculas de clorofila pueden unirse entre sí formando grandes pilas. Cada tilacoide está compuesto por un sinnúmero de moléculas de clorofila, dispuestas en forma de placas de acumulador. Este arreglo permite la utilización de las pequeñas corrientes eléctricas necesarias en la realización de la fotosíntesis (Villeg, Solomon y Davis, 1992).

3.2.5 ETAPAS DE LA FOTOSÍNTESIS

La evidencia de que la fotosíntesis puede ser influenciada por distintos factores llevó a distinguir una etapa dependiente de la luz (etapa de reacciones lumínicas) y una etapa enzimática, independiente de la luz (etapa de reacciones oscuras). Los términos *reacciones lumínicas* y *reacciones oscuras* han creado mucha confusión pues, aunque éstas últimas no requieren de la luz como tal sino solamente de los productos químicos de las reacciones lumínicas, pueden ocurrir tanto en la luz como en la oscuridad. Más aún, trabajos recientes han mostrado que varias enzimas que controlan la etapa de reacciones oscuras son reguladas indirectamente por la luz. Como resultado, estos términos han caído en desuso y están siendo reemplazados por vocablos que describen más precisamente los procesos que ocurren durante cada etapa de la fotosíntesis: las *reacciones que capturan energía* y las *reacciones de fijación del carbono* (Curtis y Barnes, 2001):

a) *Reacciones que capturan energía*: pueden llevarse a cabo solo en presencia de luz. Durante esta fase de la fotosíntesis ocurren varios procesos importantes. Villee, Solomon y Davis (1992) señalan los siguientes:

- La clorofila absorbe energía lumínica, la cual inmediatamente se convierte en energía eléctrica. La energía eléctrica está representada por el flujo de electrones en la molécula de clorofila. Se dice que la clorofila se energiza temporalmente.
- Parte de la energía de la clorofila energizada se dedica a la obtención de ATP mediante quimiósmosis. Durante este proceso la energía eléctrica se transforma en energía química.

- Parte de la energía atrapada por la clorofila se utiliza en la hidrólisis del agua, proceso que se conoce como fotólisis. El oxígeno del agua es liberado, parte de éste va a la respiración celular de las plantas y el otro a la atmosfera.
- El hidrógeno del agua se combina con el aceptor de hidrógeno NADP, para formar NADPH (NADP reducido) así, la energía eléctrica se convierte en energía química.

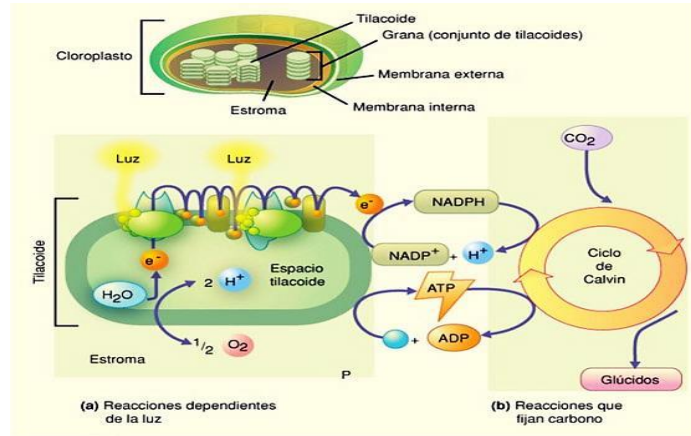


Figura 3-6 Esquema global de la fotosíntesis.

Fuente: (Curtis y Barnes, 2001)

b) *Reacciones de fijación del carbono:* Aunque directamente éste tipo de reacciones no requieran de luz, si necesitan de los productos de las reacciones que capturan energía. Durante esta fase, la energía del NADPH reducido y el ATP producido durante la primera etapa de la fotosíntesis se utiliza para producir carbohidratos, donde la materia prima son el dióxido de carbono del aire y el hidrogeno separado de las moléculas de agua. La energía química es transferida a los enlaces de las moléculas de carbohidrato. Esta forma de almacenamiento de energía permite reservarla por un tiempo más prolongado.

Algunas de las moléculas de carbohidrato producidas durante esta etapa se utilizan como combustible; otras se utilizan en la fabricación de diversos compuestos orgánicos de las células vegetales, como por ejemplo, las proteínas creadas mediante la adición de minerales del suelo como nitratos y azufre.

La energía lumínica atrapada en la molécula reactiva de la *clorofila a* lanza los electrones a un nivel de energía más alto. Estos electrones son reemplazados por electrones de las moléculas de agua, que liberan protones y gas oxígeno (Villem, Solomon y Davis, 1992).

3.2.6 DESARROLLO HISTÓRICO DEL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS

El inicio del concepto del fenómeno de fotosíntesis, se desarrolló hace alrededor de 300 años con las investigaciones de Van Helmont. Pero, solo fue hasta principios del siglo XVII cuando se inicia el estudio experimental de la fisiología vegetal, teniendo en cuenta que no se contaba con las herramientas suficientes para demostrar cómo ocurrían las reacciones químicas. Hoy en día, numerosas investigaciones han servido de sustento de hechos que explican y confirman el estudio de este concepto enmarcado en tres épocas o edades de la historia: antigua, moderna y contemporánea. (Ver Tabla 3.4)

Desde esta perspectiva, la presente investigación, aborda las principales entidades y propiedades de la fotosíntesis que surgen en cada una de las épocas. A continuación, se muestran cómo ha evolucionado en la ciencia el conocimiento del concepto fotosíntesis como proceso de nutrición de las plantas, a partir de los estudios de Baker y Allen (1970), Curtis y Barnes (2001), Garnica y Roa (2012) y Sáenz (2012).

A partir de la información suministrada por los autores que constituyen el marco teórico sobre el recorrido histórico del concepto fotosíntesis, se presenta a continuación la siguiente línea de tiempo, destacando las entidades presente en cada época o edad: Antigua, Moderna y Contemporánea.



(Asimov, 1980, Huzisige y Ke 1993, Gest 1997, Curtis y Barnes, 2000, Govindjee y Krogmann, 2003, Garnica & Roa, 2012, Gónzales Rodríguez et al, 2012, Macías, 2013)

Figura 3-7 Línea de tiempo del desarrollo histórico del conocimiento de la fotosíntesis

Tabla 3-4 Reseña del recorrido histórico del concepto fotosíntesis

EDAD	AÑO	INVESTIGADOR	CONCLUSIONES RELEVANTES
ANTIGUA	372-287 A.C.	Tephopastro	Efectuó ensayos en nutrición vegetal.
		Dioscórides	Llevó a cabo investigaciones en botánica en el siglo I A de C. (Resh, 2006).
		Hipócrates y Aristóteles	Desarrollan la teoría del humus para explicar la nutrición vegetal. Se asume que las raíces serían las “bocas” por donde ingresan los alimentos que proceden del suelo (Quintanilla et al, 2010).
MEDIA	Siglo XV	V-	Se desarrolló un amplio marco conceptual sobre la estructura y composición de la materia y los cambios que en ella suceden (González, 2005).
MODERNA	Siglo XVII 1648	en Jan Baptista Van Helmont	Consideraba el aire y el agua como los elementos básicos del Universo, y a ésta última como el principal constituyente de la materia. A mediados del siglo concluye que las plantas solo se sostienen con agua, sin requerir otros elementos del suelo. Éste fue el primer estudio de tipo cuantitativo realizado en organismos vivos, donde se tomaba como variable de salida del experimento los cambios de masa producidos por la variación en ciertos factores controlados (Asimov, 1968; citado por Sáenz, 2012).
	Segunda mitad del siglo XVII	Major y Perrault	Se realizan estudios sobre la circulación de la savia, comparándola con la circulación sanguínea. Se pretendía demostrar que las hojas fabrican el alimento de la planta a partir de los materiales que absorben del suelo y que éstos suben hasta las hojas por el interior de los troncos de los árboles. Haciendo un experimento donde se removía una parte de corteza, después de un tiempo encontró glucosa y almidón, productos fabricados por la planta (Bonner y Galston, 1959).
	1699	Jhon Wodvord	Cultivó plantas en aguas que contenían diversos tipos de suelos y encontró que el mayor desarrollo correspondía a aquellas que contenían la mayor cantidad de suelos; de aquí sacó la conclusión de que el crecimiento de las plantas resultaba de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo y no del agua misma (Resh, 2006).
	1727	Stephen Hales	Hizo experimentos en diversos tipos de plantas. En ellas vertía cierto líquido (como vino) dentro de su sistema. Al ser éste absorbido, no percibió ninguna alteración en el olor ni en el sabor de los frutos del árbol, en cambio, el olor era muy fuerte en los peciolos de las hojas y de las ramas (Ray, 1964). Descubrió que las plantas utilizaban aire para alimentarse durante su desarrollo y que la luz participa de alguna manera en el proceso (Harré, 1970).
	1754	Joseph Black	Denominó al gas proveniente de la combustión de una vela como “aire fijo” (CO_2).
	1771	Joseph Priestly	Realiza experimentos y concluye que las plantas verdes son capaces de restaurar o purificar el aire que había sido nocivo para la respiración de un animal. Él no reconoce la necesidad de la luz ni que las plantas también utilizan el oxígeno para vivir (Salisbury y Ross, 1994; citados por Sáenz 2012).

CONTEM- PORÁNEA	1730- 1799	Jan Ingen Housz,		Repite los experimentos de Priestly y con otros ensayos que realiza, concluye que las plantas "vician" el aire tanto en la luz como en la oscuridad, evidenciando la respiración en los vegetales. Reconoce que al iluminar las plantas con la luz del sol, la liberación del oxígeno (aire deflogisticado) excede al que se consume. Además, identifica que este fenómeno sólo ocurre en las partes verdes de las plantas. (Salisbury y Ross, 1994; citados por Sáenz 2012). Detectó que el ingrediente nutritivo del aire es el CO_2 , y que esa absorción se realiza en presencia de luz (Ray, 1964).
	1782	Jean Senebier		Confirma las conclusiones de Ingen Housz y afirma que las plantas terrestres extraen del aire el CO_2 que necesitan. <i>Aire fijo + Luz → Nutrientes en la planta + aire deflogisticado</i>
	1743- 1794	Antoine-Laurent Lavoisier		Impactó los estudios de los procesos vegetales al relacionarlos con los intercambios gaseosos que ocurren cuando los animales respiran. En sus experimentos demostró que la combustión de compuestos de carbono con oxígeno es la fuente real del calor animal y que el consumo de oxígeno se incrementa durante el trabajo físico (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).
	1804.	Nicholas Theodore Saussure	de	Fue el primero en establecer la relación entre las plantas y las sustancias minerales absorbidas por las raíces; propone la participación del agua en el proceso, realiza las primeras cuantificaciones de la fotosíntesis. Concluye que las plantas consumen H_2O durante la incorporación de CO_2 y que durante la fotosíntesis se intercambian volúmenes aproximadamente iguales de CO_2 y O_2 . (Salisbury y Ross, 1994; citados por Sáenz, 2012). Demostró que los elementos que quedan en las cenizas después de la combustión del vegetal proceden del suelo (Resh, 2006).
	1817	Pelletier Caventou	y	Aislaron la sustancia verde de las hojas y la llamaron clorofila (Cogua, 2011; citado por Sáenz, 2012).
	1837	Rene Dutrochet		Demostró que la fotosíntesis solo tiene lugar en células vegetales que contienen clorofila (Cogua, 2011; citado por Sáenz, 2012).
	1840	Liebig		Indicó que el suelo contribuye al crecimiento vegetal con los elementos calcio, potasio, azufre y fósforo. (Resh, 2006).
	1842	Julius Mayer.	Robert	Postuló la ley de la conservación de la energía y sugirió que las plantas absorben energía luminosa para transformarla en energía química (Cogua, 2011; citado por Sáenz, 2012). <i>$CO_2 + Luz + Agua \rightarrow Materia\ orgánica + Oxígeno + E. Química$</i>
	1851	Boussingault		Confirmó la conclusión de Saussure. Mediante sus experimentos concluyó que el agua era esencial para el crecimiento de las plantas por el suministro de hidrógeno y que la materia seca de las plantas estaba formada por hidrógeno, más carbón y oxígeno, que provenían del aire (Asimov, 1982).
	1861	Sachs y Know		Demostraron que las plantas podrían cultivarse en medios inertes humedecidos con una solución acuosa que contuviese los minerales requeridos por las plantas (Hall y Rao, 1977)

1864	Boussingault		Comprobó que la relación entre el CO_2 consumido y el O_2 , desprendido durante la fotosíntesis, era igual a 1.
1865	Julius von Sachs		Postuló que los cloroplastos eran los orgánulos donde tenía lugar la fotosíntesis. Demostró que en el proceso de fotosíntesis se formaban compuestos de carbono. A este autor le debemos la ecuación clásica de la fotosíntesis, comprobada por Wilhelm Engelmann en 1882: $6CO_2 + 6H_2O + \text{Energía solar} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$
1893	Barnes		Acuñó en la ciencia el término “fotosíntesis” definida como proceso por el que las plantas utilizan luz para construir moléculas de hidratos de carbono (Gest, 2001).
1904 1905	- Blackman, F		Descubrió que en los cloroplastos se produce el oxígeno y concluyó que la fotosíntesis depende de la luz absorbida por la clorofila (Cogua, 2011; citado por Sáenz, 2012).
1918	Otto Meyerhof	Fritz	Confirmó que la fotosíntesis tiene dos etapas: i) Fase dependiente de la luz e independiente de la temperatura y ii) Fase independiente de la luz y dependiente de la temperatura (Cogua, 2011; citado por Sáenz, 2012).
1923- 1950	Warburg		Sentó las bases de los principios fundamentales del metabolismo de todo ser viviente. Comprobó que las vías fermentativas se producían de manera similar en todos los organismos. Investigó el funcionamiento de las enzimas en el metabolismo de los hidratos de carbono (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).
1930	Hill Scarlsbrick	y	A partir de los experimentos hechos con la microalga Chlorella, se define que el requerimiento cuántico para la producción de una molécula de oxígeno es de 8 (Salisbury y Ross, 1994; citados por Sáenz, 2012).
1930	Van Niel		Demostró que los cloroplastos aislados y fragmentos de estos mismos son capaces de liberar oxígeno en presencia de luz si se les proporciona un aceptor adecuado de los electrones que se extraen del agua. La ruptura del agua por efecto de la luz (fotólisis) en ausencia de fijación de CO_2 se conoce como la reacción de Hill (Salisbury y Ross, 1994; citados por Sáenz, 2012).
1932	Emerson Arnold	y	En estudios comparativos de plantas y bacterias fotosintéticas, propuso la idea de que el oxígeno liberado en la fotosíntesis proviene del agua y no del CO_2 (Salisbury y Ross, 1994; citados por Sáenz, 2012).
1941	Samuel y Kamen		Iluminaron una suspensión de células de chlorella y midieron la cantidad de oxígeno desprendido en relación con la intensidad de los destellos. Concluyen que la mayor parte de la clorofila actúa solo para absorber la luz y transferir la energía de excitación a una clorofila especializada. Llamaron unidad fotosintética a todas estas clorofilas que cooperan colectivamente con la absorción de 8 cuantos de luz para la producción de una molécula de oxígeno. (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).

1943	Emerson	Usando agua con oxígeno pesado (O_{18}) probaron definitivamente que el O_2 resultante de la fotosíntesis provenía del H_2O . Se demuestra que el compuesto de ATP posee un enlace energético rico, el cual se caracteriza en que guarda en las uniones químicas una gran cantidad de energía que puede ser liberada con gran facilidad (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).
1947	Fritz Lipmann	Descubrió “la caída en el rojo” midiendo los efectos de dos longitudes de onda, considerando con esto que existen dos pigmentos fotosintéticos que absorben la luz (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).
1948	Kennedy y Lehninger	Aislaron una sustancia fundamental para la transferencia del grupo acetilo de un compuesto a otro y la llamó coenzima A. Se encuentra en el ácido pentatónico. Sin la presencia de esta sustancia, no hay cambios metabólicos (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).
1954	Daniel Arnon	Demostró que la mitocondria de las células animales constituía el sitio exclusivo para la fosforilación oxidativa, el ciclo de ácido cítrico (ciclo de Krebs) y la oxidación de los ácidos grasos (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).
1957	Melvin Calvin	Obtuvo cloroplastos enteros a partir de células rotas de hojas de espinacas y demostró que podían llevar a cabo la fotosíntesis fuera de la célula. Concluyó que la formación de ATP es el mecanismo principal a través del cual la energía lumínica es absorbida por la clorofila y los pigmentos auxiliares (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012). Logró identificar el compuesto que, durante la fotosíntesis, incorpora por primera vez el CO_2 . Desarrolló el ciclo de reducción fotosintética del carbono o ruta fotosintética -Ciclo de Calvin- (Curtis y Barnes, 2001; citados por Sáenz, 2012).

Adaptado de Baker y Allen (1970), Curtis y Barnes (2001), Garnica y Roa (2012) y Sáenz (2012).

3.2.7 CONSIDERACIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS

La enseñanza de conceptos y fenómenos científicos dentro de las aulas de clase están direccionados por la construcción de los modelos científicos establecidos por las teorías, sin embargo, la mente del docente influye a la hora de enseñar. Esto se refleja en numerosos estudios en el campo de la didáctica de las ciencias, como es el caso de las competencias científica de Chona et al (2006), quienes señalan que el contenido del pensamiento del profesor influye en la forma cómo se caracterizan los acontecimientos y en cómo estima la variación de los fenómenos, señalando que incluso al contrastar las creencias con la experiencia, ésta se encuentra influenciada por sus propios juicios y por su interacción con la manera como se perciben los datos.

De esta manera, otros didactas que estudian los modelos mentales, consideran que el profesor elabora explicaciones desde su interpretación de los modelos científicos, esperando que el alumno construya modelos mentales que den explicaciones científicamente aceptadas a los fenómenos naturales o sistemas modelados (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002).

Ahora bien, la fotosíntesis aparece en el currículo como uno de los conceptos esenciales, según las disposiciones del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2006). Su enseñanza es obligatoria y desde que en las escuelas se aborda el proceso de nutrición en las plantas, se puede llegar a dar a conocer el mundo vegetal, a comprender que todo ser vivo interacciona con el medio (adquiere materia y energía) y explicar el porqué de la persistencia de la vida en la Tierra (González, García y Martínez, 2012).

Sin embargo, a pesar del gran valor educativo, se ha demostrado la dificultad que representa la construcción significativa del concepto fotosíntesis en las mentes de los estudiantes, por ser muy abstracto y de alta demanda cognitiva, tal como lo señalan Test y Weward (1980). Macías (2013)

Menciona en su estudio que *“la fotosíntesis es un concepto difícil de enseñar y aprender por lo abstracto y extenso”*.

Los trabajos que analizan las concepciones de los estudiantes sobre los procesos de fotosíntesis y respiración, y el origen de las mismas, han despertado gran interés entre los investigadores; no obstante, la problemática entorno a la enseñanza y aprendizaje sobre los procesos de fotosíntesis y respiración sigue vigente. Charrier, Cañal y Rodrigo (2006) han llegado a la conclusión, en cuanto a estos dos conceptos, de que existe unanimidad en las concepciones previas de los estudiantes y que éstas, en la mayoría de veces, se detectan también a nivel universitario.

Estudios realizados con profesores muestran hasta qué punto es generalizada la presencia de errores conceptuales en cuanto a la fotosíntesis de las plantas verdes. Se encontró que factores como la luz, dióxido de carbono, clorofila, agua y sales minerales no eran considerados imprescindibles por los profesores para que se realice el proceso de la fotosíntesis de las plantas verdes (Astudillo y Gené, 1984).

En Colombia, Garnica y Roa (2012) en sus estudios con profesores, también plantean que respecto al conocimiento que tienen dos profesoras sobre el aprendizaje de los estudiantes sobre la fotosíntesis, ambas presentan dificultades para explicitar la forma de aprendizaje. Es importante conocer cómo los estudiantes interpretan, comprenden y van construyendo relaciones entre fenómenos como fotosíntesis y respiración, además de preguntarse de qué manera están interconectando estos conceptos con el de circulación, nutrición, cadenas tróficas, entre otros.

Es importante que la enseñanza del concepto sobre fotosíntesis atienda a la reflexión y a la búsqueda de alternativas para deconstruir y reconstruir pensamientos que sean modelos de enseñanza y, sobre todo, modelos que le otorguen a la fotosíntesis el gran sentido que representa

para la vida en nuestro planeta. Tal como lo plantea Stern y Roseman, (2004) “*como una función vital y sus particularidades dentro del concepto de nutrición, como la dimensión ecológica de la misma*”.

3.2.8 MODELO CIENTÍFICO ERUDITO DEL CONCEPTO FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS SUPERIORES VERDES

Para abordar el estudio de los modelos mentales de profesores que enseñan ciencias, finalidad de ésta investigación, se identifican dos fases que intervienen en el proceso de la fotosíntesis: I) fase dependiente de la luz y II) fase de fijación del carbono. Es aquí donde se llevan a cabo las principales reacciones del proceso.

La revisión de autores como Vilee, Solomon y Davis (1992); Curtis y Barnes, (2001); Campbell y Reece (2005); Berg et al (2012), entre otros, permitió conocer a profundidad el Modelo Científico Erudito (MCE), sistematizado desde aportes teóricos que brinda el modelo ONEPSI en términos de entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.

En las dos primeras columnas del MCE aparecen descritas las entidades que intervienen en cada fase, al igual que las propiedades atribuidas a éstas, esto es agrupado en el constituyente ontológico del modelo; en las siguientes columnas se encuentran las relaciones y reglas de inferencia, estas van de acuerdo con las entidades propias del concepto, haciendo referencia al constituyente epistemológico.

Para la elaboración del MCE se parte de Gutiérrez y Pinto (2004) cuando enuncian que un modelo científico es una representación de un sistema real o conjeturado, el cual consiste en un conjunto de objetos con sus propiedades más sobresalientes enlistadas y un conjunto de reglas que declaran el comportamiento de dichos objetos. Este planteamiento soporta en gran medida el MCE que a continuación se presenta.

Tabla 3-5 Modelo Científico sobre fotosíntesis en plantas superiores verdes

MODELO CIENTÍFICO¹ SOBRE FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS SUPERIORES VERDES²			
Fenómeno involucrado	Fotosíntesis: Es el principal proceso realizado por las plantas superiores –y otros organismos fotosintéticos- que consiste en el almacenamiento de energía lumínica como energía química, en compuestos orgánicos para su futuro consumo.		
	Finalidad: Transformar compuestos de baja energía como agua y dióxido de carbono, en compuestos orgánicos (ej. azúcares) que contienen grandes cantidades de energía, mediante la acción de luz solar y el efecto anabólico de enzimas específicas. En el proceso se distinguen dos etapas distintas:		
	Fase dependiente de la luz: Consiste en una serie de reacciones sucesivas que ocurren en presencia de luz solar, donde la planta capta energía luminosa del sol y la convierte en energía química. Comprende la fotólisis del agua, la formación de ATP y NADPH+ (mediante la fotofosforilación cíclica y fotofosforilación acíclica) y la liberación de O ₂ a la atmósfera.		
	Fijación del carbono: Consiste en una serie de reacciones sucesivas que no requieren luz aunque algunas enzimas son reguladas por ella, en esta fase la planta fija el carbono proveniente del CO ₂ atmosférico para sintetizar azúcares, utilizando como fuentes de energía el ATP y el NADPH+ formados en la fase luminosa; con la consecuente liberación de vapor de H ₂ O.		
<i>Constituyentes Ontológicos</i>		<i>Constituyentes Epistemológicos</i>	
<i>Entidades</i>	<i>Propiedades</i>	<i>Relaciones</i>	<i>Reglas de inferencia</i>
Soporte Anatómico Sistema Radical			
Raíz Órgano generalmente subterráneo. Posee epidermis sin cutícula, con pelos absorbentes. Las células del cilindro central se diferencian en dos tejidos, originando el sistema vascular constituido por: xilema y floema.	Capacidad de fijar la planta al suelo con cierta flexibilidad.	Los pelos absorbentes de la raíz al contacto con la savia bruta la absorben, haciéndola llegar al xilema del sistema aéreo (tallo y hojas).	Si en el suelo hay agua, sales y minerales, <i>entonces</i> estos son absorbidos por la raíz y ascienden como savia bruta.
Xilema Constituido por células -que han perdido núcleo y protoplasma- transformándose en grandes conductos muertos (vasos leñosos), impregnados de lignina; también forman parte del sistema, células alargadas (traqueidas)	La disposición de sus tejidos vasculares (Xilema: central en forma de “X”. Floema: entre los brazos de la “X”), proporciona resistencia, a la raíz.	Las sustancias absorbidas por la raíz pasan al xilema donde se conduce el agua y minerales hacia las hojas. El agua transportada a través del xilema, es la que intervienen en el proceso de fotosíntesis que se da en la hoja.	Si una planta superior absorbe agua y minerales a través de la raíz, <i>entonces</i> esta agua y minerales son conducidos al interior de la planta por un conjunto de tubos llamado xilema.

¹ La matriz desarrollada toma en cuenta los constituyentes de un modelo mental propuestos por López-Gordillo, y López-Mota, (2015). “Una directriz teórico-metodológica para orientar el establecimiento de criterios de diseño y validación de secuencias didácticas basadas en modelos: el caso de la nutrición humana”. Ponencia COMIE 2015 (en evaluación).

² El modelo científico que se presenta, se basa en plantas superiores o vasculares, debido a que los modelos mentales de los docentes participantes en la investigación se refieren a este tipo de organismos exclusivamente.

que se ligan con células parenquimatosas. Se extiende desde la raíz hasta el sistema aéreo (tallo y hojas).

Sistema de tubos de transporte que hace ascender la savia bruta desde la raíz hasta el sistema aéreo.

Floema

Formado por vasos liberianos o tubos cribosos (con orificios de intercomunicación), de paredes delgadas, frecuentemente acompañadas por células anexas y siempre por parenquimatosas.

Forma un sistema de tubos de transportación que hace descender los productos de la fotosíntesis (desde la hoja a todo el vegetal).

Durante la fotosíntesis: Los productos orgánicos elaborados por los cloroplastos del tejido fotosintético de la hoja, al contacto con el agua, se disuelven, formando la savia elaborada o savia celular.

Si se produce glucosa durante la fotosíntesis, entonces esta es conducida por el floema como savia elaborada hacia toda la planta.

SopORTE Anatómico

Tallo

Órgano con geotropismo negativo que forma el eje del sistema aéreo. Sostiene hojas, flores y frutos. Transporta savia bruta y savia elaborada entre las raíces y las hojas. Constituido por tres sistemas de tejidos: epidérmico, el fundamental (médula: porción central parenquimatoso) y el vascular (xilema y floema).

Hacecillos conductores distribuidos en forma dispersa o anular alrededor de la médula, que tienen la capacidad para transportar savia bruta y elaborada.

El azúcar producido mediante fotosíntesis por las células “estomáticas”, aumenta la concentración de solutos en la célula. Entonces, el agua (que está en mayor concentración en las células epidérmicas que las rodean) entra por difusión a las células estomáticas provocando que éstas se hinchen desigualmente debido al diferente grosor de su pared celular y en consecuencia se curvan. Como resultado, el ostiolo (poro) se abre, de tal manera que la hoja puede realizar el intercambio de gases (O_2 y CO_2) y liberar el exceso de agua en forma de vapor.

Si en las células de las hojas aumenta la concentración de solutos, entonces estas se hinchan y el ostiolo del poro de la hoja se abre para realizar el intercambio de gases CO_2 y O_2 .

Hoja

Órgano altamente especializado, formado por:

Epidermis: Tejido protector ubicado en el haz (superficie superior de la hoja) y envés (superficie inferior).

Sistema estomático: Formados por dos células “estomáticas” fotosensibles (únicas células epidérmicas que contienen cloroplastos), unidas en sus extremos y, juntas delimitan un poro u ostiolo que atraviesa la epidermis inferior de la hoja. Sus paredes dirigidas hacia el estoma son más gruesas que quedan opuestas a él.

Órgano con capacidad para realizar fotosíntesis y posibilitar el intercambio de gases [CO_2 , O_2 y vapor de agua (H_2O)].

Tejido con propiedad impermeabilizante y protectora de la hoja por la cutina que secreta.

Células con capacidad para regular la hendidura del ostiolo.

Capacidad para provocar el intercambio de gases.

Si en las células de las hojas aumenta la concentración de solutos, entonces estas se hinchan y el ostiolo del poro de la hoja se abre para realizar el intercambio de gases CO_2 y O_2 .

Mesófilo

Tejido ubicado entre la epidermis del haz y del envés. Constituido por tejido vascular y tejido fotosintético.

Sistema vascular: formado por dos tipos de tejidos: xilema y floema.

Tejido fotosintético: formado por células que poseen grandes cantidades de cloroplastos y puede tener dos posiciones:

Parénquima en empalizada

Formado por células alargadas, con ejes largos perpendiculares a la superficie de la hoja.

Parénquima esponjoso

Formado por células irregulares con espacios intercelulares muy desarrollados llenos de aire. Forma cámaras estomáticas (grandes espacios de aire) ubicadas generalmente encima de cada estoma.

Sus células poseen cantidades variables de cloroplastos con capacidad fotosensitiva.

Sistema de tubos con capacidad de transportación de savia bruta y elaborada.

Células con capacidad de almacenar la mayor cantidad de clorofila de la planta.

El *Parénquima esponjoso* es un tejido con capacidad para favorecer el contacto de las células fotosintéticas con el CO₂ y el O₂; así como el intercambio de gases utilizados o producidos durante la fotosíntesis o respiración celular (O₂, CO₂ y vapor de agua), proveniente del tejido fotosintético.

Los cloroplastos son centro de reacción de la luz solar, el agua, el dióxido de carbono para producir compuestos de hidratos de carbono y oxígeno.

Lugar donde los organismos autótrofos como las plantas convierten la energía lumínica en energía química.

En las membranas tilacoides están las clorofilas y otros pigmentos que participan en la absorción de la luz, enzimas para el transporte de electrones y el factor de acoplamiento para la formación de ATP.

Si los cloroplastos que están en las hojas reaccionan ante la luz solar entonces en la planta se llevan a cabo reacciones dependientes de la luz que permiten la transformación de sustancias inorgánicas a sustancias orgánicas.

Si Una hoja con mayor cantidad de clorofila se expone al sol entonces habrá mayor captación de luz solar y mayor fotosíntesis en la plantas.

Cloroplasto

Organelo celular de estructura cerrada, generalmente elipsoide. Contiene pigmentos fotosintéticos (clorofila, carotenoides y otros pigmentos), organizados en los fotosistemas I y II. Delimitado por dos membranas; la interna se proyecta y forma estructuras aplanadas llamadas tilacoides. Además, tiene una matriz homogénea llamada estroma.

Organelos capaces de captar la energía luminosa del sol para efectuar la fotosíntesis. Capacitados para crecer y dividirse en cloroplastos “hijos”.

Organelos con la propiedad de producir azúcares y O₂ que se desprende a la atmósfera.

Organelos capaces de sintetizar ciertas proteínas necesarias para su propio funcionamiento.

El agua (Es absorbido por la raíz y transportado por el tejido vascular hacia el tallo y las hojas) y el dióxido de carbono (Ingresa a la hoja por medio de los estomas) se difunden en los cloroplastos, y con ayuda de la luz solar y la clorofila, que es activada por esta, transforman la energía lumínica, en eléctrica y luego en química.

La absorción de la luz solar, tiene lugar en las membranas del tilacoide y la reducción de dióxido de carbono a un carbohidrato en los estromas, todo esto ocurre en los cloroplastos.

Si en una planta verde la molécula de clorofila se encuentra empaquetada (en las membranas tilacoidales) y no aislada, entonces existe transferencia de energía, causando por consiguiente la activación de la clorofila.

Tilacoides

Constituidos por membranas que tienden a plegarse sobre sí mismas, dispuestas en pila de monedas, formando agregados llamados grana o granos, conectados unos a otros mediante membranas, en las que se distribuyen y mantienen ordenadas varias capas alternas de clorofila y

Membranas con capacidad para efectuar la reacción luminosa de la fotosíntesis.

Capacidad para manejar la energía disponible de los electrones “excitados”.

Mantiene empaquetada la clorofila a.

otros pigmentos, resultando en una estructura estratificada de pigmentos fotosintéticos.

Estroma

Es una matriz líquida no membranosa, formada por lipoproteínas incolores y algunas enzimas relacionadas con la fijación de CO_2 y la transferencia de fosfato.

Capacidad para favorecer la fijación de CO_2 y la transferencia de fosfato durante la fase oscura de la fotosíntesis.

Capacidad de convertir el CO_2 y H_2O en moléculas de carbohidrato.

Clorofila

Pigmento verde cuya estructura química es fotosensible. Sus moléculas funcionan sólo integradas en unidades fotosintéticas: Fotosistemas I y II. Posee un anillo de cinco carbonos, que es su sitio químicamente reactivo.

Fotosistema I

Consta aprox. 400 moléculas de clorofila *a* (Clorofila $a = \text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$), 50 de carotenoides y una molécula de clorofila *a* llamada P_{700} .

Fotosistema II

Consiste en 400 moléculas de clorofila *b* (Clorofila $b = \text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$) y una molécula de clorofila *b* llamada P_{680} . Los electrones de la clorofila que salen del sistema II por el impacto de los fotones, ya no retornan a él.

Los dos sistemas están conectados por una cadena de transporte de electrones.

Pigmento fotosensible con capacidad de “desestabilizarse” por el impacto de fotones en el átomo de Mg^{+} de su molécula.

Pigmento que presenta capacidad de absorber selectivamente la energía lumínica de los fotones, dependiendo de la longitud de onda del espectro.

Capacidad para transferir átomos de hidrógeno al entrar en funcionamiento su anillo de cinco carbonos.

Moléculas pigmentadas que son capaces de generar un flujo cíclico de electrones con producción exclusiva de ATP.

Moléculas pigmentadas que tienen la propiedad de efectuar la fotólisis del agua y transportar los electrones resultantes hasta el intermediario NADP para reducirlo a **NADPH**. Capaz de promover la formación de **ATP**.

En las plantas verdes, las moléculas de clorofila se encuentran empaquetadas formando unidades funcionales llamadas fotosistemas en lo que la transferencia de energía tiene lugar fácilmente. Los fotosistemas, están embebidos en las membranas de los tilacoides.

Cuando una molécula de clorofila se excita por la absorción de un fotón, transmite su excitación a una molécula vecina y vuelve a su estado basal. La clorofila absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja del espectro. La luz verde se refleja, razón por la cual las plantas son verdes.

Si una planta superior es expuesta a una longitud de onda verde y otra a luz azul, *entonces* el volumen de O_2 gaseoso producido será mayor en la planta expuesta a la longitud de onda que corresponda al color azul, por ser una onda de mayor contenido energético, debido a su longitud.

Agua

Compuesto químico formado por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno (H_2O). Forma parte de la materia viva en grandes proporciones.

Disolvente universal, capaz de romperse en sus componentes por impacto de un fotón libera oxígeno y cede sus protones (H^{+}) para reducir el NADP.

En la fase lumínica hay un flujo constante de electrones desde el agua al fotosistema II, de este al fotosistema I y a través del fotosistema I al NADP^{+} .

Si la molécula de clorofila *a* del fotosistema II se reactiva, lanza sus electrones a un nivel de energía más alto, *entonces* estos electrones son remplazados por electrones extraídos de la molécula de agua que liberan protones H^{+} y gas oxígeno.

Difosfato de adenosina (ADP)

Molécula que puede ser adicionada con un grupo fosfato para sintetizar

Con la utilización de la energía liberada en el transporte de electrones:

Es un nucleótido difosfato [molécula orgánica formada por la unión covalente de una base nitrogenada (adenina), una ribosa (monosacárido de cinco carbonos), y dos radicales fosfato. Es la parte sin fotofosforilar del ATP.	ATP, mediante el proceso de fotofosforilación.	La enzima ATP-sintetasa de la membrana tilacoidal, cataliza la unión de la molécula de ADP con un grupo fosfato, produciendo la síntesis de ATP. Es decir: $ADP + P_i \xrightarrow{ATP-Sintetasa} ATP$
Fosfato de dinucleótido de nicotinamida adenina (NADP+) o Nicotinaminadenindinucleótido Coenzima	Molécula fosfatada capaz de reducirse, al ganar protones Hidrógeno (o hidrogeniones) para formar NADPH₂ (una molécula de mayor energía).	En las reacciones luminosas se utiliza la energía solar para producir ATP y reducir la molécula de NADP aceptoras de hidrógeno. Parte de la energía almacenada es capturada temporalmente almacenada en ambos compuestos. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación: $12H_2O + 12 NADP + 18 ADP + 18 P_i \xrightarrow[Luz solar]{Clorofila} 6O_2 + 12 NADPH + H^+ + 18 ATP$
Fósforo inorgánico (Pi) Proviene del apatito: Ca ₅ [(F,OH)(PO ₄) ₃], mineral magmático.	Molécula soluble en agua. Participa en funciones de fosforilación, en la cual puede ser agregado a una molécula de ADP para formar ATP .	
Radiación fotosintéticamente activa	Energía radiante que puede ser transformada en energía potencial de los enlaces químicos de sustancias orgánicas producidas por plantas verdes.	Los fotones inciden sobre los electrones de clorofila provocando su “excitación”. Estos electrones fotoexcitados, al salir de la clorofila son captados y transportados a lo largo de una cadena de sustancias, produciéndose la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica. Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) y la enzima ATP-sintetasa posibilitan la unión del ADP con el fosfato inorgánico (Pi), produciéndose ATP, suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía química (la cual queda concentrada en los enlaces del ATP). Los fotones capturados por la clorofila y otros pigmentos proporcionan energía para dividir dos moléculas del agua para liberar una molécula de O ₂ gaseoso, cuatro protones (o cuatro núcleos de hidrógeno sin su electrón representado como H ⁺ y cuatro electrones (e ⁻) proveniente de los hidrógenos del agua. Esto es: $2H_2 \rightarrow (4H^+) + 4e^- + O_2$
Espectro de absorción Pequeña sección del espectro electromagnético visible - principalmente en las regiones: azul, violeta y rojo- que puede ser absorbida por la clorofila	Su longitud de onda se encuentra entre 390-500 nm y 650-740 nm, respectivamente -que son las de mayor efectividad fotosintética.	
Fotón o cuanto de luz	Partícula de energía portadora de todas las formas de radiación electromagnética –rayos gamma, rayos x, luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, microondas y ondas de radio. Su masa tiende a cero. No posee carga eléctrica. Viaja en el vacío con una velocidad constante C, en línea recta y en todas direcciones. Tiene propiedades ondulatorias y corpusculares cuando interactúa con la materia para transferir una cantidad	Si la luz es absorbida por los pigmentos de organismos vegetales superiores, <i>entonces</i> estos organismos pueden captar energía para distintos procesos celulares (impulsar la formación de ATP y NADPH, compuestos utilizados con posterioridad para el ensamblaje de azúcares y otros compuestos orgánicos).

fija de energía. Su contenido energético es inversamente proporcional a la longitud de onda.

Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) posibilita la unión de cada molécula de NADP con dos protones de hidrógeno provenientes del agua (H^+) -que son de un nivel energético más alto- produciéndose $NADPH_2$, y suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía química (la cual queda concentrada en los enlaces de **NADPH₂**).

OXÍGENO

Elemento químico, gaseoso, no metálico, se caracteriza por su alta reactividad debido a esto forma parte de miles de compuestos orgánicos, su fórmula es O_2 .

Comprende una parte de la atmósfera y resulta necesario para sostener la vida terrestre, no puede permanecer en la atmósfera terrestre como elemento libre sin ser reabastecido constantemente por la acción fotosintética de los organismos que realizan el proceso de fotosíntesis.

Es liberado mediante la fase luminosa de la fotosíntesis.

La luz que incide sobre el fotosistema II lanza electrones cuesta arriba. Estos electrones son remplazados por electrones de moléculas de agua que, al escindirse liberan oxígeno O_2 . Muchos organismos, entre ellos plantas y seres humanos, usan este oxígeno en sus mitocondrias. Los iones hidrógeno (H^+) permanecen en el espacio tilacoide y contribuyen a la formación de un gradiente de ion de hidrógeno.

Si el oxígeno entra a las células y participa en la respiración celular entonces se da el proceso de oxidación de compuestos orgánicos que son fuentes de energía celular.

DIÓXIDO DE CARBONO

Gas atmosférico formado por dos átomos de carbono y uno de oxígeno (CO_2).

Se libera desde el interior de la Tierra a través de fenómenos tectónicos, vulcanismo y a través de la respiración, procesos de suelos, combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica.

Es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos.

Al ser este uno de los gases de efecto invernadero el aumento de las concentraciones de CO en la atmósfera es una de las principales causas del calentamiento global.

Es captado por los estomas.

El **CO₂** llega a las células fotosintéticas de las plantas a través de aberturas especializadas de las **hojas** y tallos verdes llamados **estomas**.

En el ciclo de Calvin el **CO₂** entra al cloroplasto atravesando las membranas celulares del organelo por medio de canales hasta llegar al estroma, el ciclo inicia cuando la ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa oxigenasa, realiza la carboxilación del CO_2 y origina dos moléculas de tres carbonos.

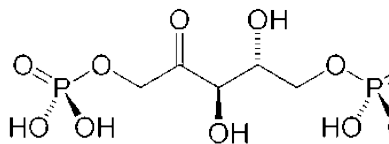
Si, a través de las estomas entra mayor concentración de **CO₂** entonces habrá mayor producción de glucosa.

Si aumenta la población de plantas verdes en el planeta entonces disminuye la concentración de CO_2 y disminuye el calentamiento global.

RIBULOSA -1,5-DISFOSFATO

Carboxilasa-oxigenasa. Conocida con el nombre de RuBisCO o simplemente rubisco (RuBP)

La RuBP (ribulosa 1,5-bifosfato oxigenasa) es una enzima proteína de cinco carbonos, que reacciona con el CO₂ en el primer paso del ciclo de Calvin, para la fijación y asimilación del CO₂ en la vía de síntesis de materia orgánica o moléculas biológicas útiles en los sistemas fotosintéticos.



Tiene un peso molecular de 490.000 Daltons aproximadamente, proteína que cristaliza, es incolora, sin olor y sabor.

Este complejo proteico es exclusivo de los tejidos verdes de vegetales y de aquellos organismos que realicen la fotosíntesis.

Formada por 16 polipéptidos, que compone ocho grandes subunidades y ocho pequeñas subunidades. Las grandes subunidades están codificadas en el propio cloroplasto, mientras que las pequeñas unidades se codifican en el núcleo de la célula.

El sitio activo se encuentra en las subunidades grandes.

La Ribulosa es la enzima más abundante de la biosfera y constituye alrededor del 50% de la proteína soluble de las hojas de las plantas. RuBP es una proteína clave y esencial para la vida autótrofa en la que se basa la pirámide alimentaria de nuestro planeta.

La fijación del CO₂ por acción de la ribulosa se realiza en el estroma de los cloroplastos.

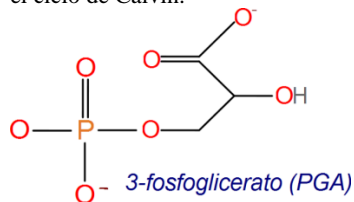
Produce reacciones catalizadoras que fija el CO₂ produciendo carbohidrato y regenerándose nuevamente el RuBP empleando 12 moléculas de NADPH y 18 moléculas de ATP.

Si la concentración de CO₂ es baja, RuBP funciona como oxidasa, y entonces en lugar de ayudar a la fijación de CO₂ se produce la oxidación de glúcidos hasta CO₂ y H₂O (fotorrespiración).

Si moléculas de CO₂ reacciona con moléculas de RuBP produce moléculas de carbohidratos y regeneración de RuBP entonces resulta evidente decir que la síntesis de carbohidrato es una actividad de gran gasto de energía por utilizar 12 moléculas de NADPH y 18 moléculas de ATP.

3-FOSFOGLICERATO (PGA)

Es una de las sustancias producidas por la fijación del CO₂ con la ribulosa en el ciclo de Calvin.



La enzima rubisco cataliza dos reacciones competitivas: la carboxilación de la RuBP (Fotosíntesis) y la oxigenación de la RuBP (Fotorrespiración)

Se regenera a partir del gliceraldehído 3-fosfato y requiere hidrólisis grande de ATP.

Su actividad catalítica es lenta: la rubisco cataliza la condensación de tres moléculas de CO₂ por segundo, mientras que la mayoría de las enzimas unen alrededor de mil moléculas de sustrato por segundo.

Se forma a partir de la carboxilación de RuBP. El PGA se fosforila mediante hidrólisis de ATP formando nuevas sustancias en el ciclo de Calvin.

El PGA forma moléculas de 1,3-difosfoglicerato (BPG) que se reduce por los electrones del NADPH formando nuevas moléculas de gliceraldehído-3-fosfatos (GAP).

El GAP proveniente del PGA se emplea en la síntesis de carbohidratos en el citosol y en la regeneración de RuBP en el estroma.

Si el rubisco se encuentra en gran cantidad en las hojas de las plantas verdes entonces podemos considerarla como la proteína más abundante del mundo.

Si la enzima ribulosa convierte el carbono inorgánico en orgánico entonces esta enzima presenta un gran significado en la pirámide alimentaria, en el desarrollo y progreso de la economía mundial basada en la agricultura pero sobre todo en la vida de nuestro planeta.

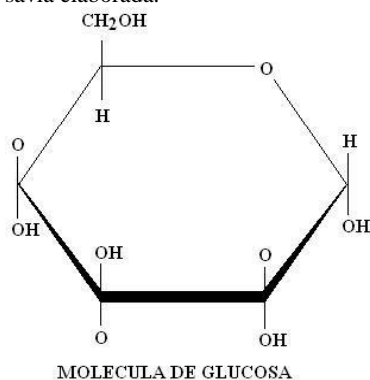
Si 5 moléculas de CO₂ reaccionan con 6 RuBP entonces se producen 12 moléculas de PGA en el ciclo de Calvin.

Una vez se produzca el PGA en el ciclo de Calvin se reduce a

nivel de un azúcar mediante la formación BPG y este en GAP.

GLUCOSA

También llamado Savia elaborada, hidratos de carbono, glúcidos o carbohidratos. Cuando sale de la hoja a los conductos del floema se le llama savia elaborada.



Es un azúcar de bajo peso molecular, compuesto por carbono, oxígeno e hidrógeno.

Producto de la fotosíntesis que se forma a partir de las reacciones de fijación del CO_2 atmosférico. Constituye el alimento fundamental para la planta.

En el estroma, se absorbe CO_2 y se reduce a carbohidrato o glucosa, esto es posible gracias al ciclo de Calvin-

El ciclo de Calvin produce gliceraldehído fosfato, a partir del cual pueden formarse la glucosa.

El ATP y el NADPH formados durante las reacciones de la fase luminosa llevan a cabo esta reducción.

Si en las reacciones luminosas del proceso fotosintético se forman ATP y NADPH *entonces* es posible la reducción del CO_2 a un azúcar simple llamado glucosa.

Si la energía química almacenada en las moléculas de ATP y de NADPH se transfiere a las moléculas que transportan y almacenan energía en las células de las plantas, *entonces* se forma un esqueleto de carbono a partir del cual se produce glucosa.

Si se reduce la cantidad de CO_2 entonces la cantidad de glucosa producida por la planta disminuye.

Fuente: Diseño tomado de López-Gordillo, y López-Mota, (2015)

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sistema educativo colombiano los lineamientos curriculares emanados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) constituyen puntos de apoyo y de orientación general frente al postulado de la Ley que nos invita a entender el currículo como un conjunto de criterios, planes de estudio, programas, metodologías y procesos que contribuyen a la formación integral y a la construcción de la identidad cultural nacional, regional y local” (Ley 115 de 1994, Artículo 76, p. 2). Dichos programas, planes de estudios y metodologías entre otros, buscan que los estudiantes tengan acceso a los conocimientos necesarios para el desarrollo de competencias desde las diferentes áreas del saber que les permitan resolver situaciones problemas y relacionarse de manera efectiva con el entorno.

Es así como dentro de los lineamientos curriculares para el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, el MEN (2006) establece los procesos claves que los estudiantes deben comprender para poder explicar e indagar los fenómenos naturales haciendo buen uso del conocimiento científico, dentro de estos procesos los lineamientos manifiesta que uno de los conceptos esenciales que se debe enseñar, y que debe ser tenido en cuenta en el currículo, es la fotosíntesis. Según el documento, este fenómeno hace parte de la organización y de los procesos vitales que ocurren en los seres vivos y menciona como fundamentales los *“Procesos vitales y organización de los seres vivos: Diversos niveles de organización de los seres vivos y la célula como el mínimo sistema vivo. Los procesos vitales: respiración, excreción, crecimiento, nutrición, reproducción y fotosíntesis”* (pág. 82).

De igual forma en los Estándares Básicos de Competencias para el área de Ciencias Naturales de los grados decimo y once en la columna entorno vivo y procesos biológicos se plantea: “*Argumenta la importancia de la fotosíntesis como un proceso de conversión de energía necesaria para organismos aeróbicos*” (p. 140)

Esto indica que para alcanzar este logro, los estudiantes deben tener claros otros conceptos como células, organelos celulares, materia orgánica e inorgánica, energía, reacciones químicas, fisiología vegetal: Nutrición, excreción, circulación, respiración, flujo de materia y energía; los cuales de alguna forma coadyuvan en la comprensión del concepto en mención.

Son muchas las investigaciones que se han adelantado en cuanto al concepto fotosíntesis. Charreier, Cañal y Rodrigo (2006) enuncian que no es sencilla la temática fotosintética y su complejidad está presente en el poco énfasis que se hace al tema de nutrición en las plantas, debido a que se focaliza como un proceso de intercambio de gases. Además, es uno de los conceptos más difíciles de enseñar y de aprender por lo abstracto y extenso (Macías, 2013). De igual forma, falta conocimiento de los maestros con relación a los hechos históricos relacionados con el desarrollo del concepto fotosíntesis (Garnica y Roa, 2012).

Desde esta perspectiva, al ser indispensable incluir el proceso de fotosíntesis en las aulas de clases, es necesario conocer las representaciones de los docentes que enseñan Ciencias Naturales en torno a éste concepto, a la luz de la teoría de los modelos mentales, lo cual será de gran utilidad para el desarrollo de estrategias que fomenten un proceso enseñanza y aprendizaje significativo de las ciencias naturales. Teniendo en cuenta que las representaciones mentales que los maestros construyen de dicho proceso fotosintético, puede estar directamente relacionado con la representación que hacen sus estudiantes en clase. Ya que estos pueden ser la clave para comprender por qué la dificultad en la construcción del concepto por parte de dichos estudiantes.

El estudio de los modelos se constituye en una estrategia para la cualificación de la enseñanza de las ciencias, debido a que es un punto de partida para la identificación de obstáculos de los conceptos enseñados por los profesores (Tamayo, 2013), en este caso el concepto fotosíntesis. En la enseñanza de las ciencias los profesores usan en clase teorías y modelos científicos adecuados mediante transposiciones didácticas a la “audiencia” de los estudiantes. (Adúriz-Bravo, Labarca, Lombardi, 2014)

Teniendo en cuenta lo anterior el grupo investigador se plantea el siguiente interrogante:

¿Cuáles son las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia, acerca del concepto fotosíntesis, presentes en los modelos mentales de profesores que enseñan Ciencias Naturales?

5. OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Describir los modelos mentales acerca del concepto fotosíntesis, evidenciados en los profesores que enseñan Ciencias Naturales, en términos de entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades, relaciones y reglas de inferencia, de las entidades presentes en el modelo mental del profesor, acerca del concepto fotosíntesis.
- Contrastar los modelos mentales explicativos sobre fotosíntesis, evidenciados en los profesores que enseñan ciencias naturales, con el modelo científico erudito.

6. METODOLOGÍA

6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Se orienta desde el enfoque cualitativo, bajo el paradigma de investigación interpretativo, el cual tiene como finalidad comprender e interpretar la naturaleza de una realidad (ontológica) de varios sujetos, que establecen relaciones e interrelaciones influenciadas por factores de orden subjetivo, cuyo propósito es generar explicaciones de corte cualitativo centradas en las diferencias de su manera de abordar una explicación y desarrollar procesos analíticos (Sandín, 2003). De acuerdo a lo citado por González J. (2000), págs: 228 – 229 Guba y Lincoln (1985). El paradigma interpretativo se caracteriza entre otros por los siguientes axiomas:

- La naturaleza de la realidad, la cual puede ser construida, múltiples y holísticas; el objetivo de la investigación es la comprensión de los fenómenos.
- La relación entre el investigador u observador y lo conocido, interacción e influencia entre el sujeto cognoscente y lo conocido; se postula que ambos son inseparables.
- La posibilidad de generalización; desarrollo de un cuerpo ideográfico de conocimientos capaz de describir el caso objeto de indagación.

De estos axiomas se deducen algunas características: Métodos cualitativos por adaptarse a las realidades múltiples con las que se ha de trabajar; análisis de la información de carácter inductivo debido a que favorece la descripción y comprensión de la realidad plural y facilita la descripción de los fenómenos estudiados; se fundamenta en una teoría “enraizada” que van dando sentido a los datos que emergen en el proceso de investigación; es posible generar un informe –en el que se puede describir- la realidad investigada y “la interpretación se realiza remitiéndose a la

particularidad del caso analizado y dependen del contexto concreto y de las relaciones establecidas entre el investigador y los informantes”.

Sandín (2003) argumenta que este enfoque: *“Es una actividad sistemática orientada a la comprensión y profundidad de fenómenos educativos y sociales, a la transformación de prácticas y escenarios socioeducativos, a la toma de decisiones y también hacia el descubrimiento y desarrollo de un cuerpo organizado de conocimientos”* (p. 123).

Para Hernández, Fernández y Baptista (2010) la investigación cualitativa se enfoca a comprender y profundizar fenómenos, explicándolos desde la perspectiva de los participantes en su ambiente natural y en relación con el contexto. En esta investigación se realiza la interpretación detallada de las diferentes perspectivas de los participantes a partir de los registros analizados de manera independiente y realizando luego una triangulación para su interpretación respecto a cada caso.

A partir de las anteriores consideraciones, teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, se pretende realizar la exploración y la descripción de los modelos mentales de profesores que enseñan Ciencias Naturales en relación al concepto fotosíntesis desde el enfoque cualitativo, el cual en las últimas décadas ha sido el utilizado para desarrollar indagaciones relacionadas con el conocimiento profesional y en especial del *“pensamiento del profesor”* (Marcelo, 1987; citado por Sandín, 2003). Igualmente se ha abordado el Conocimiento Profesional del Profesor (CPP) caracterizando a los docentes en formación inicial realizando *“descripciones e interpretaciones que permitieran evidenciar la particularidad de las declaraciones y acciones respecto a las prácticas pedagógicas”* (Obregoso, Vallejo y Valbuena, 2013, p.85).

Las anteriores investigaciones están dirigidas a conocer cuáles son los procesos de razonamiento que ocurren en la mente del docente durante su actividad profesional (Sandín, 2003);

se toma como fundamento que el profesor es un sujeto reflexivo, racional que puede decidir, emitir juicios, cree y establece su propia rutina en su desempeño profesional e igualmente los pensamientos del profesor guían y orientan su conducta.

En la investigación cualitativa no se intenta realizar generalizaciones, se dirige a comprender vivencias en un entorno específico en donde los datos emergentes aportan el entendimiento del fenómeno. Hernández, Fernández y Baptista (2010) consideran que este enfoque investigativo es particularmente útil cuando el fenómeno de interés es difícil de medir o no se ha medido anteriormente; al explorar y describir los modelos mentales a cerca del concepto fotosíntesis, evidenciados en profesores que enseñan Ciencias Naturales, la investigación se enmarca en este enfoque investigativo cualitativo, en el que es posible utilizar múltiples técnicas de recolección de información y se facilita el acceso o presencia del investigador en el contexto donde desarrolla su accionar el sujeto participante.

6.2 DISEÑO

El diseño metodológico utilizado es el de estudio de casos múltiples, de acuerdo a lo expresado por Sandín (2003); McMillan y Schumacher (1997) quienes afirman que es adecuado y pertinente para el estudio de la realidad socioeducativa y que *“implica un proceso de indagación que se caracteriza por el examen detallado, comprehensivo, sistemático y en profundidad del caso objeto de estudio. Podemos señalar los siguientes rasgos esenciales del estudio de caso: particularista, descriptivo, heurístico e inductivo”* (p.174).

Éste diseño permite abarcar la complejidad de cada caso para llegar a comprender la actividad de quien se está analizando, en circunstancias importantes y determinadas; además permite realizar las respectivas interpretaciones que posibilitan conocer los modelos mentales que han construido los profesores que enseñan las Ciencias Naturales sobre el concepto fotosíntesis.

En el estudio de casos múltiples, el interés no se centra en un caso concreto, sino en el estudio de un determinado conjunto de casos. La identificación, selección y contextualización de los casos abordados, ha de estar en función a lo que cada caso concreto puede aportar al estudio en su totalidad (López y Moreno, 2013). Se reitera que es una metodología rigurosa, adecuada para investigar fenómenos en los que se buscan dar respuestas del por qué y el cómo ocurren (Martínez, 2006); en este caso, se aborda el concepto de la fotosíntesis y la comprensión de las entidades que utiliza cada profesor, las cuales se ponen de manifiesto al asignarle propiedades y relaciones.

6.3 PARTICIPANTES

Teniendo en cuenta la naturaleza de la investigación se requiere elegir participantes con unos determinados atributos para realizar la exploración de un concepto determinado (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). En esta metodología no se selecciona una muestra representativa de una población, sino que se constituye una muestra teórica o conceptual que permita a los investigadores entender una teoría mediante casos que ayuden a tal fin. En este sentido *“el objetivo de la muestra teórica es elegir casos que probablemente puedan replicar o extender la teoría emergente, deben adicionarse el número de casos, hasta la saturación de la teoría”* (Heisenhardt, 1989; citado por Martínez, 2006, p. 183).

El autor citado argumenta que el número de casos apropiados está relacionado con el conocimiento que se tiene del tema y con la información que se pueda obtener a partir de la incorporación de dichos casos al proceso de indagación (Heisenhardt, 1989, citado por Martínez, 2006).

En lo referente al número de casos a intervenir no se tiene cifras concretas; éstos deben sujetarse a los intereses propios de los investigadores que optan por esta herramienta metodológica de investigación cualitativa, sin embargo, algunos autores han planteado como guía un rango. Según Heisenhardt (citado por Martínez, 2006): *“Mientras no existe un número ideal de casos, con un rango entre cuatro y diez se trabaja bien. Con menos de cuatro casos es difícil generar teoría con mucha complejidad”* (p.184).

Para la presente investigación los participantes en el estudio de casos múltiples fueron elegidos teniendo en cuenta el criterio de accesibilidad a la fuente de la información. Se localizaron instituciones educativas, de carácter oficial, que facilitaran el acceso a sus instalaciones y a los

docentes, previa solicitud a los directivos respectivos, autorización y disposición de cada uno de los profesores que aceptaron participar en el estudio.

Así mismo, los docentes invitados a formar parte de la investigación deben cumplir como requisito: estar en ejercicio en la enseñanza de las Ciencias Naturales (Biología y Química), con el fin de garantizar el conocimiento y manejo de entidades propias de la fotosíntesis por ser un concepto asociado a los Estándares de las Ciencias Naturales de la Educación Básica y Media. De esta manera, se establecen como participantes cuatro profesores.

De los docentes que entraron a formar parte de la investigación, dos enseñan Ciencias Naturales a estudiantes que se encuentran en el último grado de la básica primaria (5°); los otros dos casos, son constituidos por profesores que enseñan Química en el último curso de Educación Media (11°). Las instituciones a las que pertenecen los profesores se encuentran localizadas en la ciudad de Barranquilla y, cómo ya se mencionó, son de carácter público. Dentro del estudio cada institución es identificada con letras mayúsculas A y B, a fin de garantizar la protección de las fuentes de la información.

La institución A se halla en la Localidad Sur-Occidente y atiende población escolar de los estratos 1 y 2 de las comunidades circundantes a ellas (Barrios: El Bosque, San Pedro, Las Malvinas, Kalamarí, Pueblito, Olivos y La Paz). La institución B está ubicada en la Localidad Norte-Centro Histórico, con una población que proviene de los estratos 1, 2, 3 y 4 (Barrios: Betania, Delicias, Olaya, Ciudad Jardín, Las Estrellas, Las Mercedes, Los Olivos, Nogales, Olivos, Pueblito y la Pradera).

Los docentes participantes se identifican para el estudio, con nombres supuestos de la siguiente manera:

- Docentes que enseñan Ciencias Naturales en 5°: Caso Mariluz y Caso Gregorio

- Docentes que enseñan Química en 11º: Caso Jorge y Caso Esther.

6.4 TÉCNICAS

El proceso de recolección de información de la presente investigación se fundamentó en las siguientes técnicas:

6.4.1 Análisis de contenido o representaciones multimodales

De acuerdo al diseño metodológico y a la naturaleza de la investigación, se implementó el uso de esta técnica teniendo en cuenta que mediante su aplicación se accede a la información básica requerida para el posterior análisis.

Según Gómez (2014) ésta técnica permite representar mediante el dibujo, maquetas o gráficos, las entidades y relaciones, así como explicar y manipular un fenómeno natural evidenciando el conocimiento científico, sus niveles de formulación, asociaciones, contenidos disciplinares, propiedades asignadas, entidades críticas, entre otros parámetros. A través de ella, se posibilita incorporar diversos soportes semióticos que permiten la expresión concreta de un modelo mediante lenguaje natural, imágenes, maquetas o dibujos (Buckley, 2000, citado por Gómez, 2008).

Los contenidos o representaciones multimodales fueron diseñadas con propósitos particulares, que pueden ser: comunicativo, negociar significado; cognitivo, razonar; u operativo para resolver problemas. Éstas representaciones son externas, observables y en un sentido amplio tienen un soporte simbólico (Gómez, 2008).

Esta técnica está conformada por varios elementos. Para el caso de esta investigación, se determinó utilizar representaciones gráficas y protocolos de pensamiento en voz alta.

a) **Representaciones gráficas:** el proceso se inicia solicitando de manera individual y, en contextos escolares, de manera particular, la elaboración de una representación gráfica del concepto fotosíntesis. Ésta técnica fue implementada por considerarla adecuada y permitir conocer los elementos constitutivos de los modelos mentales de las personas.

Para obtener la información se invitó a cada profesor realizar un dibujo de lo que para cada uno de ellos es el proceso de la fotosíntesis, se entregaron hojas de papel en blanco, lápices, colores, marcadores y crayolas, dejando a libre elección el uso el material. En estas singulares representaciones los profesores usaron dibujos coloridos, palabras, conectores y fórmulas que integran el concepto en estudio, entre otros.

b) **Protocolos de pensamiento en voz alta:** es una herramienta metodológica que permite el uso de informantes “*pensando en voz alta*” mientras van desarrollando una actividad, las cuales se graban en audio para ser analizadas. Es un medio que facilita conocer los procesos cognitivos, pensamientos y conocimientos de los sujetos mediante el uso de expresiones verbales, ofreciendo la posibilidad de configurar una visión única de la representación mental de conceptos, fenómenos y procesos.

A cada profesor se le solicitó autorización para hacer grabación de su voz en el momento en que explicó la representación gráfica del proceso de la fotosíntesis. Durante el desarrollo de esta actividad, los investigadores observaron sus expresiones, estado emotivo, seguridad, dudas, divagaciones y dominio respecto al proceso. La información obtenida se constituye en gran parte del insumo requerido para el desarrollo del análisis.

6.4.2 Aplicación de cuestionario conceptual con respuestas de selección múltiple

Para conocer los elementos conceptuales de la fotosíntesis, se aplicó un cuestionario. Teniendo en cuenta lo considerado por García (2003) *“el cuestionario consiste en un conjunto de preguntas, normalmente de varios tipos, preparado sistemática y cuidadosamente, sobre los hechos y aspectos que interesan en una investigación evaluación, y que puede ser aplicado en formas variadas”* (Pérez, 1991; citado por García, 2003). La información obtenida mediante el cuestionario debe procesarse a fin de obtener conclusiones útiles y pertinentes a los fines de la investigación. Pueden diseñarse con formulaciones de preguntas abiertas o cerradas de selección múltiple, como lo es el instrumento utilizado en la investigación. Las preguntas de elección doble o múltiple son apropiadas cuando son muy precisas, o cuando sólo interese conocer los fines de la evaluación sin más detalles (García, 2003).

6.5 INSTRUMENTOS

Las herramientas y recursos utilizados en el desarrollo del proceso de recolección de la información fueron las siguientes:

- Hojas de papel en blanco donde se señala la actividad a realizar (*Según sus conocimientos. ¿Cómo representaría el proceso de la fotosíntesis? Dibújelo*), lápices de colores, crayolas, plumones, lápiz negro, plumeros, rojo y marcadores, los cuales se dispusieron para que el docente usara según su necesidad y elección en la elaboración de su representación. Estas representaciones fueron observadas detalladamente, con el objetivo de establecer los elementos que utilizó el profesor en la elaboración de su modelo, estas apreciaciones se evidencian en el análisis de los datos.

- Grabaciones de audio en el que se reseñó, de viva voz, el pensamiento y la explicación expresada por cada docente. Se realizó un detallado análisis de la secuencia utilizada para realizar su representación gráfica del concepto en estudio. *“La grabación en cinta es útil para identificar patrones generales de conducta verbal y la selección de episodios para un microanálisis más amplio”* (Latorre, 2005).

- Transcripciones textuales de las grabaciones de audio según formato preestablecido (Anexo I).

Formato de cuestionario conceptual de respuestas de selección múltiple. Se diseñó un cuestionario que consta de 10 ítems de selección múltiple con cuatro opciones de respuestas, en donde se presentan interrogantes sobre el proceso de fotosíntesis. El cuestionario utilizado es un formato adaptado de Domingos; Reis; Ruiz y Mellado (2011) (Anexo III), y fue validado por dos expertos en la disciplina de las Ciencias Naturales de la Universidad del Norte.

Para el desarrollo del análisis de la información recolectada se estructuraron gráficos de línea de tiempo del recorrido histórico del concepto fotosíntesis, en la que se reseñaron los diferentes elementos conceptuales de este fenómeno correspondientes a las diferentes épocas de la historia de la humanidad.

También se diseñaron dos instrumentos fundamentados en el Modelo ONEPSI (Gutiérrez, 2001; López-Gordillo y López-Mota, 2015), los cuales están debidamente sustentados en el marco teórico, estos son:

- Modelo Teórico ONEPSI de cada uno de los casos: este instrumento recoge de manera sistemática el constituyente ontológico (entidades-propiedades) y el constituyente epistemológico (relaciones-reglas de inferencia) presentes en el discurso grabado y transcrito de

los docentes sobre el proceso de la fotosíntesis. A partir de este se analizan los resultados para cada caso.

– Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis: para el componente ontológico, se determinan las entidades y propiedades intrínsecas en el proceso y, para el componente epistemológico, se señalan lo referente a las relaciones y reglas de inferencia que se generan a partir y entre las entidades que rodean al concepto; el sustento fundamental de este MCE se ciñe a lo que la comunidad científica de las Ciencias Naturales ha establecido como válido, a través de las teorías publicadas sobre el concepto estudiado.

A continuación se presenta una tabla en la que se muestra la secuencia utilizada en la aplicación de técnicas e instrumentos, registro y diseño de modelos implementados que se utilizaron para la recolecta de la información requerida.

Tabla 6-1 Técnicas e instrumentos utilizados en la recolección de información.

Objetivo General	Describir los modelos mentales acerca del concepto fotosíntesis, evidenciados en los profesores que enseñan Ciencias Naturales en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.	
Objetivos específicos	Técnicas aplicadas	Instrumentos y recursos utilizados
Determinar las propiedades, relaciones y reglas de inferencia, de las entidades presentes en el modelo mental del profesor, acerca del concepto fotosíntesis.	Análisis de contenido o representaciones multimodales (Gómez, 2014):	<ul style="list-style-type: none"> – Dibujos y gráficos (papel, lápices de colores y otros)
	<ul style="list-style-type: none"> – Representación gráfica – Protocolos de pensamiento en voz alta. Grabaciones en audio de explicaciones dadas por los docentes. – Aplicación de cuestionario 	<ul style="list-style-type: none"> – Grabaciones de audio, explicación del proceso usado en la representación del modelo. – Formato del cuestionario (adaptado de Domingos, Reis, Ruiz y Mellado, 2012).
Contrastar los modelos mentales explicativos sobre fotosíntesis, evidenciados en los profesores que enseñan ciencias naturales, con el modelo científico erudito.	Análisis de contenido	
	<p>Transcripción y sistematización de la información</p> <p>Análisis de la información a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Modelo Científico Erudito de la Fotosíntesis. – Modelo teórico ONEPSI, de cada caso (Gutiérrez, 2001, 2006; López y López, 2015). – Gráfico de línea de tiempo. <p>Revisión y selección de fundamentos teóricos del MCE de la fotosíntesis</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Formato de transcripción – Formato de Modelo Científico Erudito. – Formato de Modelo teórico ONEPSI de cada caso. – Diagrama de línea de tiempo.

6.6 PROCEDIMIENTO

Durante el proceso realizado, se distinguen cinco fases en lo referente a recolección de la información necesaria para llevar a cabo la investigación, que se detallan a continuación:

– **Fase 1:** se realiza una revisión del banco de datos de instituciones educativas oficiales de las localidades Metropolitana, Sur-Occidente y Norte-Centro histórico, con el fin de programar visitas varios centros educativos. Se contactó con 15 instituciones, cuyos rectores y coordinadores mostraron su disposición para permitir el desarrollo de la investigación con los profesores del programa de Ciencias Naturales en 5° de Básica Primaria y el programa de Química en 11°. Teniendo en cuenta la disponibilidad de éstos, 35 profesores fueron contactados, de los cuales sólo 8 accedieron a participar, pues había temor por ser grabados en audios frente a una eventual evaluación estatal. Previa solicitudes formales y aprobaciones, tanto de directivos y profesores, se llevó a cabo el proceso con cuatro docentes en dos instituciones (A y B).

– **Fase 2:** se inicia el proceso con la aplicación de los dos primeros instrumentos, el diseño de la representación gráfica y la grabación en audio de la explicación del contenido de su dibujo. Los investigadores sólo invitan a explicar su proceso y realizan alguna pregunta con el fin de aclarar una situación.

– **Fase 3:** Aplicación del cuestionario conceptual con respuestas de selección múltiple. Con antelación se solicita una cita al docente, se visita en su contexto escolar y se le invita a responder el cuestionario; se eligió un lugar apropiado, previa concertación con los respectivos Coordinadores de las instituciones.

– **Fase 4:** Transcripción de audios en los respectivos formatos.

– **Fase 5:** Análisis de la información. Previamente se diseñaron dos elementos necesarios y de especial importancia para realizar el proceso analítico de la información

obtenida; éstos son el Modelo Científico Erudito, estructurado según el Modelo ONEPSI y la Línea de tiempo del desarrollo histórico de la fotosíntesis.

El análisis se realizó en el siguiente orden:

- a) Observación e interpretación de las representaciones gráficas: se genera un texto descriptivo de las entidades presentes, resaltando los aspectos que participan en el proceso de la fotosíntesis. En el gráfico se alcanzan a vislumbrar rasgos del modelo mental explicativo de cada docente.
- b) Diseño del Modelo teórico ONEPSI de cada uno de los casos, en los que se fueron señalando los componentes que abarcan los constituyentes ontológicos y epistemológicos. Se generó un informe explicativo e interpretativo de los contenidos de las transcripciones de los audios, insumo fundamental utilizado en la interpretación y análisis; mediante este proceso se permite explicitar el modelo mental explicativo de cada docente sobre el concepto en estudio.
- c) Contrastar el Modelo Científico Erudito con el Modelo teórico ONEPSI de cada uno de los casos: como resultado de ésta verificación, se lograron establecer las posibles aproximaciones y distanciamientos que cada caso tiene con respecto al MCE, lo que generó la elaboración de un informe detallando de cada una de las entidades y propiedades presentes en el modelo mental explicativo de cada docente, frente a las establecidas en el MCE, por lo cual, se permite poner de manifiesto una descripción propia de cada uno de los casos analizados.

En esta revisión y exploración de cada modelo se contrastan igualmente las entidades del modelo teórico ONEPSI de cada participante con las que aparecen reseñadas en la línea de tiempo, lo cual lleva a establecer una aproximación a una determinada edad del desarrollo histórico del proceso (Anexo II).

d) Análisis descriptivo de las respuestas elegidas por cada uno de los docentes con la finalidad de identificar los aciertos y desaciertos, para lo cual se tomó como referencia el MCE sobre fotosíntesis.

e) Triangulación de los resultados obtenidos en cada una de los instrumentos aplicados y analizados por casos, lo que se constituyó en insumo fundamental para elaborar las implicaciones de cada uno de los casos intervenidos, conclusiones generales y recomendaciones.

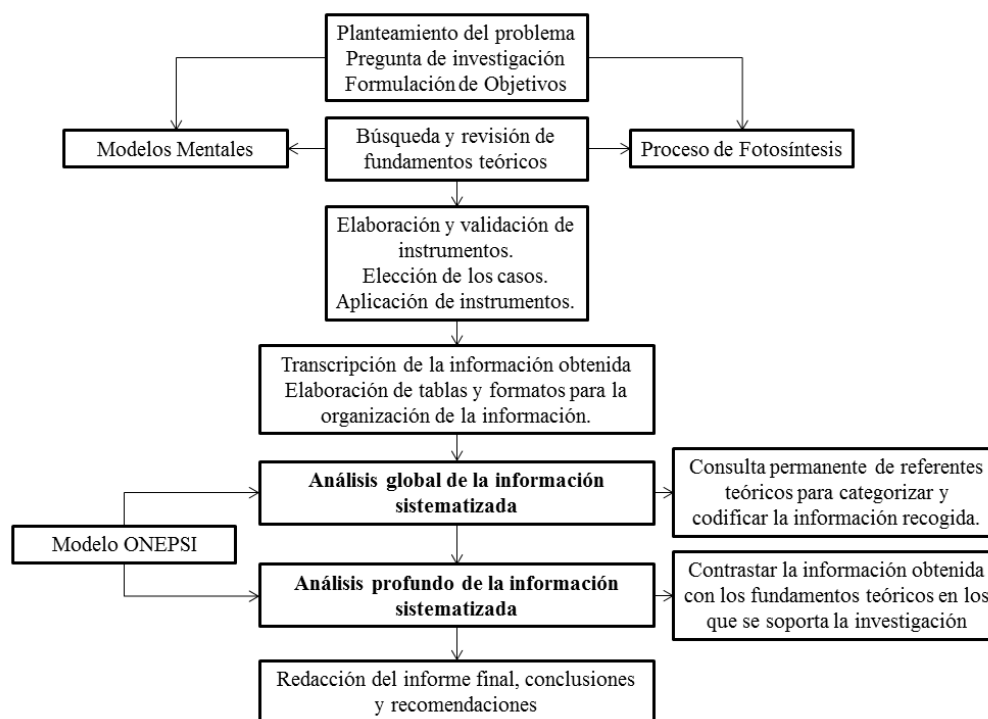


Figura 6-1 Resumen del proceso metodológico llevado a cabo en la investigación.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

*"Los modelos mentales están en las cabezas de las personas y la única manera de investigarlos es indirectamente, a través de aquello que externalizan verbalmente, simbólicamente o pictóricamente".
(Moreira, 1997, p. 35).*

Mediante la fundamentación teórica de los modelos mentales, el recorrido histórico del concepto fotosíntesis y el modelo científico erudito, tomado como referencia por el equipo investigador, se realiza el presente análisis de cuatro casos denominados: Mariluz, Gregorio, Jorge y Esther. Para cada caso se presenta una descripción e interpretación de los modelos mentales explicativos de los profesores participantes del estudio, teniendo en cuenta los estudios antes mencionados.

Los instrumentos utilizados para la recolección de la información están fundamentados en la teoría de los modelos mentales, los cuales usan representaciones multimodales aplicadas a cada sujeto en el siguiente orden: representación gráfica, protocolo de pensamientos en voz alta, y un cuestionario de tipo conceptual.

El inicio del análisis de los instrumentos se aborda desde el protocolo de pensamiento en voz alta, fundamentándose en el modelo ONEPSI, de acuerdo con la concepción de modelo de López-Gordillo y López-Mota (2015): *"Una directriz teórico-metodológica para orientar el establecimiento de criterios de diseño y validación de secuencias didácticas basadas en modelos: el caso de la nutrición humana"*.

7.1 CASO MARILUZ

7.1.1 Caracterización

Mariluz es una docente de 61 años de edad. Posee una experiencia de 41 años en servicio de la educación pública. Es Licenciada en Educación Física, Recreación y Deportes, con una Especialización en Arte y folclor, labora en una Institución Educativa del sector oficial, ubicada en la localidad Norte Centro histórico de la ciudad de Barranquilla (Colombia). Mariluz tiene a su cargo desarrollar el programa de Ciencias Naturales del grado 5° de Educación Primaria.

7.1.2 Representación gráfica de la fotosíntesis

Al solicitar a la docente realizar una representación gráfica de lo que ella considera es el proceso de la fotosíntesis, traza un dibujo en el que aparece una planta, en donde se evidencia el uso de colores para representar algunas entidades así: Amarillo para el sol, verde para las hojas, marrón para el tallo y ramas y con unas líneas negras el suelo; hay total ausencias de palabras, símbolos y señales direccionales en su dibujo.

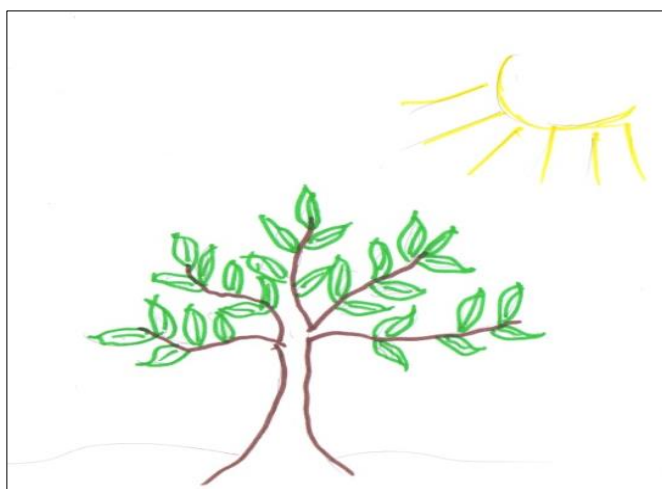


Figura 7-1 Representación gráfica 1. Caso Mariluz

Si analizamos este gráfico, teniendo en cuenta las entidades presentes en el modelo científico erudito, se puede evidenciar que en el modelo mental explicativo de la docente hay ausencia de entidades que son considerables relevantes en el proceso de la fotosíntesis. Posteriormente, al abordar el análisis de la explicación expresada por la docente se retomarán lo referente a las entidades y propiedades, relaciones y reglas de inferencia expresadas por ella.

7.1.3 Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI

A continuación se presenta una descripción de la información contenida en la representación gráfica 1. En la primera columna se reseña una síntesis del concepto fotosíntesis, tomado de la transcripción de la explicación hecha por la docente en el que se muestra un modelo sobre el concepto en estudio.

Tabla 7-1 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Mariluz

CASO MARILUZ	Constituyente Ontológico		Constituyente Epistemológico	
	Entidades	Propiedades	Relaciones	Reglas de inferencia
La fotosíntesis es el proceso mediante el cual la energía del sol recibida por las plantas se transforma en clorofila produciendo el pigmento que le da el color verde a las hojas.	Luz solar (sol, energía del sol, calor)	Capacidad para producir clorofila	La energía luminosa y calorífica del sol interaccionan con las plantas, transformándose en clorofila y pigmentando las plantas de color verde.	-Si las plantas se exponen a la luz y al calor solar, <i>entonces</i> hay producción de clorofila.
	Clorofila-	Capacidad para pigmentar de verde las plantas.		-Si las plantas producen clorofila, <i>entonces</i> las hojas se pigmentan de verde.
	Hojas	Contienen Clorofila		

Desde el constituyente ontológico se evidencian las entidades y propiedades identificadas en la explicación verbal de Mariluz, las cuales son:

- Entidades: luz solar, clorofila, hojas; son las únicas entidades consideradas fundamentales en el proceso de la fotosíntesis, evidenciadas en el modelo mental explicativo de Mariluz.
- Propiedades: versan en torno a la producción de clorofila, considerado por la docente, producto de la transformación de la energía emanada por el sol.

Es importante destacar que al inicio de su explicación, la profesora manifiesta que: ...*“la luz del sol puede producir la clorofila”*... pero al continuar su discurso, confirma entonces, que *“...la energía se transforma en la clorofila”* (Anexo IA).

Desde el constituyente epistemológico, las relaciones y reglas de inferencias presentes en el modelo mental explicativo de Mariluz son:

- La relación: **luz solar / clorofila / hoja**, “proceso mediante el cual al recibir, las plantas la energía del sol, ellas las plantas se encargan de transformar esa energía en la clorofila, que es el pigmento que le da el color a las hojas”
- Las reglas de inferencias:
 - Si las plantas se exponen a la luz y al calor solar, *entonces* hay producción de clorofila.
 - Si las plantas producen clorofila, *entonces* las hojas se pigmentan de verde.

Para Mariluz, la fotosíntesis es un proceso donde se requiere y se relacionan sólo las entidades luz solar, clorofila y hojas de la planta. Le confiere a la luz el inicio del proceso y la producción de clorofila que da el color verde de las hojas como el fin de la fotosíntesis. Igualmente lo reafirma al considerar que hay transformación de energía del sol en clorofila y ésta, en el pigmento de las hojas en las plantas.

Según el análisis realizado a partir del modelo ONEPSI, se puede establecer que el modelo mental explicativo que caracteriza a Mariluz sobre el concepto de fotosíntesis, puede ser expresado como: Proceso mediante el cual la energía del sol recibida por las plantas se transforma en clorofila produciendo el pigmento que le da el color verde a las hojas.

7.1.4 Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Mariluz con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis

Para brindar una aproximación teórica del modelo mental explicativo (MME) de Mariluz con el Modelo Científico Erudito (MCE) del concepto fotosíntesis elaborado por el grupo investigador, se hace necesario contrastar las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia presentes en el caso en mención, con las referenciadas en el modelo científico.

En el Anexo IIA se observan los modelos antes mencionados en término de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia. Teniendo en cuenta el modelo ONEPSI, aplicado al caso Mariluz, es evidente que, para ella, la entidad luz solar sólo participa en la producción de clorofila. Al contrastar con el MCE tomado como referencia, es posible anotar que existe ausencia de fundamentos disciplinares en torno al proceso puesto que la luz solar *no* produce ningún tipo de materia, sino que activa o excita la molécula de clorofila.

La Clorofila es otra entidad involucrada, a quien Mariluz le atribuye la propiedad de “... *pigmentar de verde las plantas*” (Anexo IA). Se denota un desconocimiento referente a que la clorofila, además de formar parte de los pigmentos fotosintéticos, tiene la capacidad de absorber selectivamente la energía lumínica de los fotones, dependiendo de la longitud de onda del espectro. La clorofila absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja; la luz verde se refleja, razón por la cual las plantas son de este color. Es posible afirmar que Mariluz se distancia sustancialmente de los conceptos sobre las funciones esenciales de la entidad descrita en el MCE.

Otra entidad utilizada por Mariluz es la hoja, atribuyéndole la propiedad de contener clorofila. Según el MCE, ésta entidad tiene una connotación más profunda, debido a que la hoja, además de contener este pigmento, favorece el intercambio de gases, lo cual es indispensable para el proceso fotosintético.

Las relaciones que se dan entre cada una de las entidades descritas por Mariluz son continuas, es decir, una entidad al actuar, incide sobre la otra y, ésta a su vez, impacta en la otra. Para Mariluz la energía luminosa o calorífica del sol interaccionan con las plantas y permite que ésta produzca clorofila, la cual pigmenta las plantas de color verde. Dicho concepto se aleja considerablemente de lo concluido en el MCE establecido por los investigadores.

Las propiedades, relaciones y reglas de inferencia asignadas a las entidades, además de distanciarse del MCE (Ver anexo IIA), guardan poca relación con lo planteado en los estándares básicos de competencias del Ministerio de Educación Nacional (2006), a esto se le suma que Mariluz es licenciada en Educación física con una especialización en artes y folclor, es decir, su formación profesional en educación no presenta relación o afinidad con la disciplina de las Ciencias Naturales de 5º, área que actualmente orienta.

7.1.5 Análisis del cuestionario

A continuación se presenta un ejemplo del análisis de las respuestas del cuestionario de conceptos del caso Mariluz (Anexo IIIA). A manera de síntesis, se escogió una pregunta donde la docente corrobora aspectos del proceso de fotosíntesis sustanciales para el análisis y otra donde su respuesta se aleja del modelo científico erudito.

Según el cuestionario de concepciones sobre la fotosíntesis, la docente Mariluz tiene un modelo mental muy básico, en cuanto al proceso, desconoce muchos aspectos relevantes en la

Tabla 7-2 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Mariluz

Preguntas	Respuestas	Análisis	Sustentación teórica modelo científico erudito
¿Las plantas realizan la fotosíntesis en?	a. Las células que contienen clorofila	En esta respuesta se reafirma el elemento clave en el modelo mental de la profesora el cual es la clorofila y a este pigmento le asigna propiedades que se alejan del Modelo Científico. Sin embargo la respuesta que más se acerca al modelo científico es que la fotosíntesis se lleva a cabo en los tilacoides de los cloroplastos.	La clorofila, es el principal pigmento de la fotosíntesis, absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja del espectro. La luz verde se absorbe o bien no se utiliza: la reflejan las plantas y de hecho, la mayor parte de estas son verdes debido a que sus hojas reflejan gran cantidad de la luz verde que les llega. (Villegas, Solomon y Davis, 1992)
¿Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan?	b. Luz, agua, aire, oxígeno	De acuerdo a la respuesta de este ítem la profesora considera el oxígeno como un factor que interviene en el proceso fotosintético, no identifica el oxígeno como un producto que se libera en proceso	$6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$ Reacción química que muestra los elementos que reaccionan y los productos (Curtis y Barnes 2001).

fotosíntesis y presenta contradicciones entre aspectos claves del proceso, lo que demuestra que la construcción de su modelo mental del concepto en estudio se distancia esencialmente de los conocimientos básicos que se establecen en el MCE.

7.1.6 Alcances y limitaciones del modelo

Como resultado del análisis de la información obtenida mediante la aplicación de los instrumentos utilizados, los cuales fueron comparados con el Modelo ONEPSI realizado por los investigadores, así como con la línea de tiempo y el Modelo Científico Erudito del concepto de la fotosíntesis; el grupo investigador describe una posible aproximación al modelo mental de la docente Mariluz, entorno al concepto en mención, caracterizándolo de la siguiente manera:

- La fotosíntesis es un proceso mediante el cual la energía del sol recibida por las plantas se transforma en clorofila produciendo el pigmento que le da el color verde a las hojas.
- En la fotosíntesis, la luz solar sólo participa en la producción de clorofila.

- La clorofila sólo tiene la capacidad para pigmentar de verde las plantas.
- A la hoja se le atribuye la propiedad de contener clorofila.

A partir de las caracterizaciones que presenta Mariluz del concepto fotosíntesis, se puede establecer que su modelo mental explicativo está orientado a mostrar un proceso de transformación de la energía lumínica y calorífica del sol en una sustancia orgánica que genera la pigmentación (verde) de las hojas de las plantas, como la finalidad del proceso.

Seguidamente se establecen aspectos implícitos del modelo mental de la docente Mariluz, los cuales emergen del contraste con el MCE:

- A la luz solar se le atribuye la propiedad *no* de producir, sino de activar o excitar la molécula de clorofila; esta propiedad está ausente en su modelo explicativo.
- La clorofila, además de formar parte de los pigmentos fotosintéticos, presenta capacidad de absorber selectivamente la energía lumínica de los fotones, dependiendo de la longitud de onda del espectro; en su explicación no hay registros referentes a estas propiedades.
- Se muestra un desconocimiento de propiedades y relaciones que involucren entidades con la capacidad para realizar fotosíntesis y posibilitar el intercambio de gases [CO_2 , O_2 y vapor de agua (H_2O)].
- Se distancia de elementos fundamentales, contemplados en el MCE como: Soporte Anatómico, Sistema Radical: Raíz; Soporte Anatómico, Sistema Radical aéreo: Tallo y hoja; Agua; Difosfato de adenosina (ADP); Fosfato de dinucleótido de nicotinamida adenina (NADP^+) o Nicotinaminadenindinucleótido; Fósforo inorgánico (Pi); Oxígeno, Dióxido de carbono; Ribulosa -1,5-Difosfato; 3-Fosfoglicerato (PGA) y Glucosa.

En cuanto al proceso histórico del concepto fotosíntesis enmarcado en la línea de tiempo diseñada, se establecen las entidades: Luz solar y plantas verdes, que corresponden a la Edad

Moderna (1648-1796); hoja y clorofila a la Edad Contemporánea (1804- 1893). Sin embargo, se distancian en los fundamentos científicos de cada época mencionada, lo que permite concluir que la docente presenta un modelo mental explicativo de la fotosíntesis que requiere el fortalecimiento de su conocimiento y la reestructuración de los conceptos fundamentales que intervienen en el proceso.

7.2 CASO GREGORIO

7.2.1 Caracterización

Gregorio es un docente que tiene 51 años de edad y una experiencia de 25 años al servicio de la educación pública. Es Licenciado en educación con Énfasis en Ciencias Naturales, labora en una institución educativa ubicada en la Localidad Sur-Occidente de la ciudad de Barranquilla. Gregorio tiene a su cargo orientar el programa de Ciencias Naturales a niños y niñas que cursan 5° de la básica primaria.

7.2.2 Representación gráfica de la fotosíntesis

Al solicitar a Gregorio realizar una representación gráfica sobre lo que para él es el concepto de la fotosíntesis, hace un dibujo como se muestra a continuación. En la representación de Gregorio se observa una figura que simboliza el sol y una planta vascular. Sobresale, una hoja y el tallo, mostrando aspectos relevantes que ocurren en estos dos órganos de las plantas. Es evidente la utilización de colores para representar entidades tales como: amarillo para el sol, verde para el tallo, la hoja y el fruto.

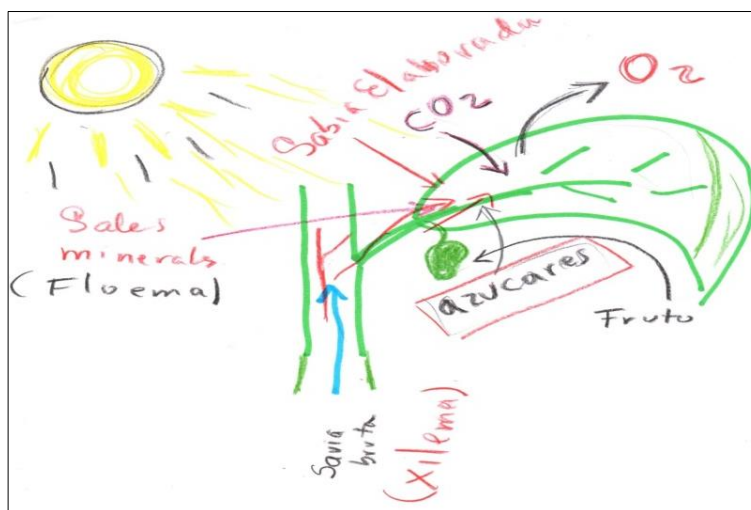


Figura 7-2 Representación gráfica 2. Caso Gregorio

En la hoja aparecen flechas que representan direcciones de flujos y procesos, como es el caso de la entrada de CO_2 y la salida de O_2 . En el tallo se encuentra una flecha que apunta hacia arriba que indica el ascenso de la savia bruta por el xilema, luego aparece una flecha color rojo que dirige la sustancia hacia la hoja, en la hoja por acción de los rayos solares la savia bruta se convierte en savia elaborada que viaja a través del floema hacia toda la planta. Los azúcares se identifican como productos que salen de la hoja, los cuales contribuyen a la formación del fruto, la cual señala con flechas color negro que van una de la palabra azúcares a la hoja y otra de la palabra fruto al dibujo que lo representa.

En el gráfico se evidencia que el modelo mental corresponde más al proceso de circulación de sustancias que se da en las plantas como savia bruta y savia elaborada, que al proceso de fotosíntesis.

7.2.3 Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI

Tabla 7-3 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Gregorio

CASO GREGORIO	Constituyente Ontológico		Constituyente Epistemológico	
	Entidades	Propiedades	Relaciones	Reglas de inferencia
La fotosíntesis en plantas: Proceso que produce alimento y oxígeno convirtiendo la savia bruta en savia elaborada.	Raíz	Absorben agua y sales minerales.		
	Xilema	Es por donde asciende el agua y sales minerales. Necesaria para la fotosíntesis Absorbida por la raíz de la planta Ascienden por el xilema	El agua y las sales minerales son absorbidas por la raíz y ascienden por el xilema convirtiéndose en savia bruta.	-Si el agua y las sales minerales son absorbidas por la raíz de la planta y ascienden por el Xilema, <i>entonces</i> se convierten en savia bruta.
	Agua	Se convierte en savia bruta, luego se convierte en savia elaborada con la ayuda de los rayos solares.	Con la ayuda de los rayos solares, la savia bruta se convierte en savia elaborada que se distribuye por toda la planta, fabricando su alimento como los azúcares o el fruto, por ello son autótrofas.	Si la savia bruta asciende y recibe la luz solar <i>entonces</i> en la planta la savia bruta se convierte en savia elaborada.
	Sales minerales	Necesaria para la fotosíntesis Absorbida por la raíz de la planta Ascienden por el xilema Se convierte en savia bruta, luego se convierte en savia elaborada con la ayuda de los rayos solares	La savia elaborada proporciona a los seres vivos alimento y oxígeno para la respiración. Capta el gas carbónico. Las plantas como hacen fotosíntesis son organismos autótrofos y productores, los que no lo hacen son consumidores.	Si la planta produce savia elaborada <i>entonces</i> la planta captará gas carbónico, fabricará alimento para ella y para los demás seres vivos, además producirá oxígeno que es botado para la respiración de los seres vivos.
	Savia bruta	Para su conversión necesita de agua y sales minerales. Se convierte en savia elaborada.	El oxígeno se bota de la planta en el proceso de la fotosíntesis para que respiren otros seres vivos y es tomado a su vez en el proceso de la respiración por los estomas de las plantas, botando el gas carbónico.	
	Savia elaborada	Ayuda a la fabricación del alimento como los azúcares, frutos. Otorga la propiedad a las plantas de ser autótrofas y productoras Se distribuye por toda la planta. Ayuda en el proceso de captar gas carbónico. Produce oxígeno a los seres vivos para la respiración.		Si las plantas fabrican su alimento para ella y los demás seres vivos <i>entonces</i> son autótrofos y productores.

	Nos proporciona alimento a los demás seres vivos.
Rayos solares (sol)	Ayuda a la conversión de la savia elaborada.
Gas carbónico	Es captado por la savia elaborada Se bota en la respiración de las plantas.
Oxígeno	Producido por la savia elaborada. Es necesario para la respiración de los seres vivos Se bota en la fotosíntesis. Es respirado por las plantas Es tomado por los estomas
Estomas	Toman el oxígeno

En el caso Gregorio, se evidencia el uso de las entidades: raíz, xilema, agua, sales minerales, savia bruta, luz solar, savia elaborada, gas carbónico y oxígeno. Gregorio brinda propiedades a las entidades, siendo esto el constituyente ontológico. De igual forma en su discurso establece relaciones entre las entidades, lo que permite establecer algunas reglas de inferencia (constituyente epistemológico).

El docente desde el constituyente ontológico le da propiedades a las entidades claves en su modelo mental, como son el agua y las sales minerales que son absorbidas por la raíz, esto lo hace evidente en su discurso cuando dice: *“las plantas necesitan agua y sales minerales que absorben por la raíz”*. Esta agua y sales minerales ascienden por el xilema y se convierten en savia bruta, afirmando que *“...esta agua y sales minerales ascienden por el xilema y se convierte en savia bruta”*. La savia elaborada, con ayuda de la luz solar favorece la fabricación del alimento, tales como los azúcares evidenciados en los frutos.

La luz solar ayuda a la conversión de la savia bruta en savia elaborada. Esto lo afirma el maestro cuando dice: *“A medida que va ascendiendo el agua y las sales minerales se convierte en savia elaborada”*. Así mismo, Gregorio afirma que *“la savia elaborada se distribuye por toda la planta y nos ayuda también en el proceso de captar el gas carbónico y producir el oxígeno”*, asignándole con esta afirmación las propiedades que se presentan en la matriz ONEPSI.

Teniendo en cuenta el constituyente epistemológico, según el modelo de Gregorio se pueden establecer relaciones entre entidades así:

- Con la ayuda de los rayos solares, la savia bruta se convierte en savia elaborada, la cual se distribuye por toda la planta fabricando su alimento (en azúcares o frutos), por ello son autótrofas.
- La savia elaborada proporciona a los seres vivos alimento y oxígeno para la respiración y capta el gas carbónico.

- El oxígeno se bota de la planta en el proceso de la fotosíntesis, con el fin de que puedan respirar otros seres vivos y es tomado a su vez en el proceso de la respiración que se lleva a cabo en los estomas de la planta, botando el gas carbónico.

El otro aspecto del constituyente epistemológico de Gregorio son las reglas de comportamiento entre entidades y relaciones que se pueden inferir a partir de su discurso como:

- *Si* el agua y las sales minerales son absorbidas por la raíz de la planta y ascienden por el Xilema, *entonces* se convierten en savia bruta.

- *Si* la savia bruta asciende y recibe la luz solar *entonces* en la planta la savia bruta se convierte en savia elaborada.

- *Si* la planta produce savia elaborada *entonces* la planta captará gas carbónico, fabricará alimento para ella y para los demás seres vivos, además producirá oxígeno que es botado para la respiración de los seres vivos.

- *Si* las plantas fabrican su alimento para ella y los demás seres vivos *entonces* son autótrofos y productores.

Desde el modelo ONEPSI se describe a manera de síntesis que para el profesor Gregorio probablemente la fotosíntesis en plantas es el proceso por medio del cual se produce alimento y oxígeno, convirtiendo la savia bruta en savia elaborada.

7.2.4 Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Gregorio con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis

Para brindar una aproximación teórica del Modelo Mental Explicativo (MME) de Gregorio, con el Modelo Científico Erudito (MCE) del concepto fotosíntesis elaborado por el grupo investigador, se hace necesario contrastar las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia presentes en el caso en mención, con las referenciadas en el modelo científico. En el Anexo IIB se observan los modelos antes mencionados en término de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.

Para Gregorio, la fotosíntesis sólo es posible si la planta tiene a su alcance agua y sales minerales, anotando que éstos al ascender por el tallo, con ayuda de los rayos solares, se convierten en savia elaborada. Al contrastar con el MCE, es evidente que Gregorio no describe con exactitud lo que realmente ocurre para la producción de la savia elaborada o glucosa, omitiendo que se produce a partir del CO_2 ; sin embargo, Gregorio cuando menciona la entidad savia elaborada, le atribuye la propiedad de *captar gas carbónico y producir oxígeno*. Como es evidente el modelo mental de Gregorio se contradice en cierta medida a lo descrito en el MCE, en donde el gas carbónico es captado por los estomas de las hojas y los tallos verdes.

Para la entidad luz solar, Gregorio le asigna como propiedad “...*la capacidad de ayudar a la conversión de la savia elaborada*”, sin embargo en el MCE, la savia elaborada es producto de la reducción del dióxido de carbono en la fase oscura, es decir, no es necesario la acción de la luz solar para la producción de la glucosa o savia elaborada como la llama Gregorio, sin embargo, se aclara que algunas enzimas son reguladas por esta, además, que la energía química del ATP y NADPH formado en las reacciones luminosas, se usan para incorporar carbono a molécula orgánicas.

Por otra parte, Gregorio enuncia dentro de sus entidades la savia elaborada y el oxígeno, ambas productos fotosintéticos según el MCE; con esta connotación, Gregorio lo presenta en sus relaciones comentando que la savia elaborada es el resultado de la transformación de la savia bruta por acción de los rayos solares y el oxígeno lo muestra como producto de la savia elaborada. Teniendo en cuenta el MCE, el oxígeno se libera al desintegrarse la molécula de agua por impacto de los fotones capturados por la clorofila y otros pigmentos, cediendo sus protones (H^+) para reducir el NADP. Cabe resaltar que esto ocurre en la fase luminosa de la fotosíntesis así: $2H_2O \rightarrow (4H^+) + 4e^- + O_2$

Las propiedades del MME de Gregorio asignadas a las entidades raíz, xilema, presentan un acercamiento con el MCE del concepto fotosíntesis; cabe anotar que con menor grado de profundidad, pues, como se enuncia en su caracterización, es un profesor que orienta el grado quinto y dichas afirmaciones sobre las propiedades están acorde al nivel escolar de sus educandos y a los estándares propuestos por el MEN (2006).

Para Gregorio las entidades del agua, sales minerales y savia bruta, guardan una estrecha relación, especificando que las dos primeras presentan capacidad para convertirse en savia bruta y ésta a su vez en savia elaborada. Para el MCE, el agua se divide por acción de la energía lumínica, liberando oxígeno y cediendo sus protones (H^+) para reducir el NADP, esto último es energía útil para la siguiente fase del proceso fotosintético (Ciclo De Calvin), lo que indica que la entidad agua ayuda en la reducción del dióxido de carbono a savia elaborada o glucosa, más no se convierte en esta.

Las otras entidades involucradas en el MME de Gregorio son: savia elaborada, luz solar, gas carbónico y oxígeno. Éstas presentan distanciamiento con el MCE referenciado, haciéndose

explicito tanto en las propiedades, como las relaciones y reglas de inferencia presentes en el modelo ONEPSI.

Al tomar el MME del caso Gregorio y contrastarlo con el MCE establecido por el grupo investigador (Anexo IIB), es evidente el uso de entidades que apuntan más al proceso de circulación en plantas vasculares que el mismo proceso fotosintético, pues el acento de la explicación lo coloca en el proceso de distribución de la savia elaborada por la planta.

7.2.5 Análisis del cuestionario

A continuación se presenta un ejemplo del análisis de las respuestas del cuestionario de conceptos del caso Gregorio. A manera de síntesis, se escogió una pregunta donde la docente corrobora aspectos del proceso de fotosíntesis sustanciales para el análisis y otra donde su respuesta se aleja del modelo científico erudito (Anexo IIIB-IVB):

Tabla 7-4 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Gregorio

Preguntas	Respuestas	Análisis	Sustentación teórica modelo científico erudito
¿la fotosíntesis de las plantas constituye un proceso esencial en el desarrollo de la vida por qué?	b. Permite el flujo de la materia y energía en los ecosistemas.	En este ítem el maestro reconoce la fotosíntesis como el proceso esencial para que se lleve a cabo el proceso que permite el flujo de materia y energía en los ecosistemas, una visión global de la importancia de la fotosíntesis para la vida en el planeta Tierra.	Los organismos fotosintetizadores son los productores primarios, estos utilizan luz solar para transformar sustancias inorgánicas en sustancias orgánicas las cuales serán utilizadas por otros organismos, es así como en la naturaleza la materia y la energía se transfiere de unos organismos a otros, de manera que la materia cicla y se reutiliza y la energía fluye. (Stern y Roseman, 2004).
¿el ciclo de Calvin se activa con?	a. La molécula de oxígeno.	De acuerdo a la respuesta del profesor se puede establecer que el profesor desconoce las reacciones de fijación del carbono o ciclo de Calvin, fundamentando con esto lo dicho anteriormente que en su modelo mental hacen falta aspectos importantes en cuanto a lo que se refiere a las reacciones químicas que se dan en la fotosíntesis.	En la etapa de fijación del carbono se lleva a cabo el ciclo de Calvin, el cual es la vía en la que el carbono se fija por medio del gliceraldehído fosfato, aquí la enzima RuBP carboxilasa combina una molécula de dióxido de carbono con un azúcar de cinco carbonos llamada ribulosa difosfato. En cada vuelta completa del ciclo ingresa una molécula de CO ₂ . (Curtis y Barnes 2001).

Según el cuestionario de concepciones sobre fotosíntesis (Anexo IIIB), el docente Gregorio presenta características en su modelo mental muy interesantes pues reconoce aspectos claves para que se lleve a cabo la fotosíntesis y la relaciona con su relevancia en los ecosistemas, pero se aleja del modelo científico al desconocer aspectos del procesos como que la fotosíntesis sólo se da en el día; no profundiza en estructuras, como tampoco en los elementos necesarios para la producción de carbohidratos, al igual que las reacciones químicas que se deben dar para que estos se transformen a partir de materia inorgánica.

7.2.6 Alcances y limitaciones del modelo

Como resultado del análisis de la información obtenida mediante la aplicación de los instrumentos utilizados, los cuales fueron comparados con el Modelo ONEPSI realizado por los investigadores, así como con la línea de tiempo y el Modelo Científico Erudito del concepto de la fotosíntesis; el grupo investigador describe una posible aproximación al modelo mental del docente Gregorio, en torno al concepto en mención, caracterizándolo de la siguiente manera:

- La fotosíntesis es la capacidad de la planta de convertir la savia bruta con ayuda de la luz solar en savia elaborada la cual viaja a toda la planta.
- Es un proceso que inicia con la entrada del agua y los minerales por la raíz, quienes después ascienden por el xilema convirtiéndose en savia bruta.
- En el proceso de fotosíntesis, la savia elaborada es el azúcar que permite fabricar el alimento y se encarga además de captar el gas carbónico y de producir oxígeno.
- La fotosíntesis es un proceso que las plantas realizan solo en el día.
- La fotosíntesis es proceso en el que se produce oxígeno necesario para los procesos de respiración los seres vivos.

- Las plantas son organismos autótrofos ya que tienen la capacidad de fabricar su propio alimento a través de la fotosíntesis.

Desde estas perspectivas, se puede considerar que el modelo mental explicativo de Gregorio alcanza a explicar la fotosíntesis desde el punto de vista nutricional del proceso, más cerca de la circulación de sustancias como la savia bruta y la savia elaborada. Se apoya en una visión global de la importancia de la fotosíntesis para los seres vivos, ya que proporciona el oxígeno necesario para la respiración y además proporcionan alimento a través del fruto.

Seguidamente, se establecen aspectos implícitos del modelo mental de Gregorio, los cuales emergen del contraste con el MCE:

- Las estructuras celulares donde se lleva a cabo la fotosíntesis como los cloroplastos no participan en su explicación, como tampoco los tilacoides y la clorofila pigmento clave en el proceso.
- La relación entre la entrada del CO_2 en el proceso y la producción de glucosa no se hace evidente.
- Las fases de fijación del carbono y ciclo de Calvin se desconocen.
- Las propiedades que se le atribuyen a ciertas entidades no corresponden al modelo científico establecido, como es el caso de la savia elaborada, atribuyéndole la propiedad de captar gas carbónico y producir oxígeno.
- No hay relación entre el proceso de fotosíntesis y la formación de ATP para la vida de la planta.

De acuerdo a la línea de tiempo construida en el marco teórico del concepto fotosíntesis se puede establecer que el modelo mental del concepto del profesor Gregorio presenta entidades propias de la edad moderna como lo son: agua, luz solar, plantas verdes, CO_2 y nutrición, pero

también usa algunas entidades que hacen referencia a la edad contemporánea, como: savia elaborada, savia bruta, glucosa, oxígeno y lo involucra con los ecosistemas. Por lo tanto, podemos afirmar que el profesor Gregorio se encuentra en un momento de transición entre las dos etapas, sin alcanzar el nivel máximo por la falta de profundidad en procesos químicos que se dan en las estructuras comprometidas en la fotosíntesis.

Para el profesor Gregorio la fotosíntesis es el proceso en el que la planta con ayuda de los rayos solares transforma la savia bruta en savia elaborada, sin embargo no explica a profundidad cómo se da esta transformación.

Aunque el profesor no hace referencia en su explicación al proceso químico de la fotosíntesis, si toca aspectos relevantes en su discurso cuando establece que las plantas son organismos productores y le proporcionan alimento a los humanos que son consumidores, destacando la importancia de las plantas como organismos autótrofos en las cadenas tróficas: “...nos proporciona alimentos a través del fruto” (Anexo IB). Además de esto, establece la importancia de las plantas para los seres vivos, ya que ellas producen el oxígeno necesario para la respiración.

7.3 CASO JORGE

7.3.1 Caracterización

Jorge es un docente que cuenta con 39 años de edad y una experiencia en el sector oficial de 17 años. Es Licenciado en Biología y Química y labora actualmente en una Institución de ubicada en la Localidad Sur-Occidente de la ciudad de Barranquilla. Jorge tiene a su cargo el programa de química a estudiantes de los grados décimo y undécimo de Educación Media.

7.3.2 Representación gráfica de la fotosíntesis

Al solicitar al docente realizar una representación gráfica de lo que para él es el proceso de la fotosíntesis, realiza un dibujo en el que aparecen figuras, símbolos, conectores y algunas palabras que, para su concepto, son relevantes.

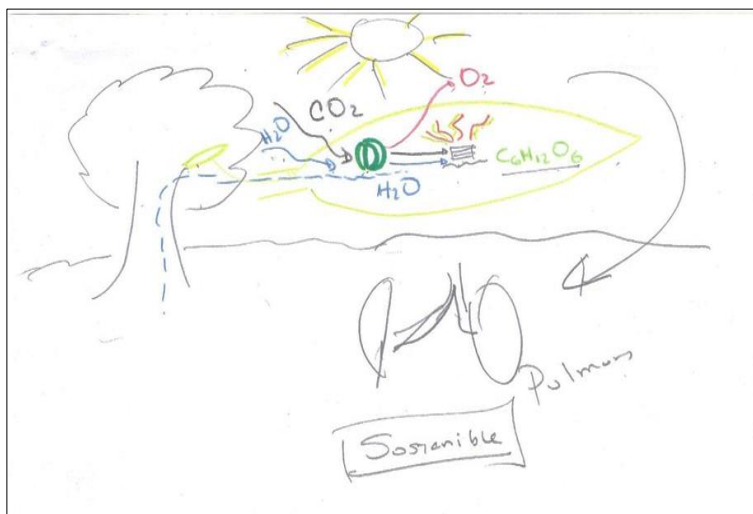


Figura 7-3 Representación gráfica 3. Caso Jorge

En la representación se observa un árbol con líneas de color negro. Hacia la derecha se amplifica una hoja para mostrar los procesos que ocurren en su interior. Para representar parte de las entidades utilizó color amarillo para el sol, verde claro para la hoja, verde oscuro al dibujar una

especie de semicírculo –amplificando una estructura interna de la hoja-, ubicado en la parte inferior de la misma.

Otras entidades como el agua son representadas mediante líneas segmentadas de color azul para simbolizar el ascenso de este mineral y flechas del mismo color para mostrar el agua en forma de vapor que entra a la hoja y se dirige al semicírculo verde oscuro. Igualmente escribe con el mismo color de las flechas, las fórmulas de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2) y una flecha de color negro dirigiéndose también al círculo verde oscuro y desprendiéndose del mismo, así mismo señala con una flecha roja el oxígeno (O_2) que se dirige al exterior.

Dentro de la hoja, traza una simulación de edificio o fábrica de color negro, que está conectada con dos flecha horizontales y paralelas entre sí, que salen del círculo verde oscuro, del edificio salen unas líneas verdes y rojas que se dirigen hacia arriba, al lado escribe con verde claro la forma molecular de expresar la glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Se evidencia también en la representación de “pulmones” humanos y en la parte final de su dibujo escribe la palabra “sostenible”.

Al analizar esta representación a partir del modelo científico erudito podemos evidenciar entidades como: hoja, raíz, sol, estoma, cloroplastos, agua, dióxido de carbono, glucosa y oxígeno, las cuales son significativas en el proceso, pero también se notan unas ausencias de otras entidades que se consideran esenciales en el fenómeno.

7.3.3 Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI

Al solicitar al profesor Jorge explicar su diagrama sobre fotosíntesis, se identifica y se analiza en su discurso el uso de entidades y propiedades que establecen el constituyente ontológico,

las relaciones entre las entidades y las reglas de inferencia corresponden al constituyente epistemológico.

A continuación se presenta una tabla en el que se resumen las representaciones proposicionales evidenciadas del concepto fotosíntesis del profesor Jorge, organizadas y sistematizadas con apoyo al modelo ONEPSI.

Tabla 7-5 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Jorge

CASO JORGE	Constituyente Ontológico		Constituyente Epistemológico	
	Entidades	Propiedades	Relaciones	Reglas de inferencia
La fotosíntesis en las plantas verdes es una síntesis a partir de la luz. Es una de las principales reacciones en la vida, que no es sencilla.	Sol (Luz solar)	Capacidad para sintetizar. Emite luz	Por el estoma entra gas carbónico y vapor de agua, a su vez el agua también puede entrar por la raíz en forma líquida y por este lugar donde entran estas sustancias, también hay salida de oxígeno y producción de glucosa, la cual queda y se reparte por toda la planta.	Si por los estomas entra gas carbónico y vapor de agua, <i>entonces</i> se produce oxígeno.
	Hoja	Órgano fundamental donde se da la fotosíntesis.		
	Estoma	Capta sustancias como gas carbónico y agua. Permite la salida del oxígeno. Produce glucosa.		
	Gas carbónico	Entra por el estoma	El cloroplasto que está en la hoja es el encargado de tomar lo que ingresa por los estomas, produciendo oxígeno.	Si hay producción de glucosa, <i>entonces</i> hay salida de oxígeno para la respiración humana.
	Agua	Entra por el estoma.(en forma de vapor) También Ingresa por la raíz (en forma líquida)		
	Raíz	Capacidad para dejar entrar el agua líquida.		
	Cloroplastos	Producen sustancias (como el oxígeno)	El oxígeno producido en la fotosíntesis es utilizado por los seres humanos para la respiración y el gas carbónico expulsado en la respiración es utilizado en la fotosíntesis.	Si no hay fotosíntesis, <i>entonces</i> no es posible el proceso de respiración en los seres vivos.
	Glucosa	Capacidad para permanecer en la planta y ser utilizada por esta. Capacidad para distribuirse por toda la planta.		
	Oxígeno	Liberado por las plantas. Produce vida		

En la primera columna, a manera de síntesis, el profesor explica su concepción de fotosíntesis: “La fotosíntesis en las plantas verdes es una síntesis a partir de la luz, es una de las principales reacciones en la vida que no es sencilla”. Podemos identificar que:

- El profesor reconoce una descripción etimológica del término fotosíntesis, cuando dice: “... o sea sintetizar a partir de la luz...”
- Ubica el proceso en el organismo, refiriéndose a un árbol o planta donde sucede la fotosíntesis. Así mismo, en su discurso expresa que la fotosíntesis es un proceso y una de las principales reacciones para la vida pero que no es un proceso sencillo, reconociendo que éste se desarrolla mediante etapas, lo que le confiere la propiedad de ser compleja. Además, especifica que en estas mismas etapas del proceso, varias de ellas tienen un efecto positivo en la vida del organismo fotosintético y de otros seres vivos.

En el modelo mental explicativo de Jorge se evidencian nueve entidades: dióxido de carbono, agua, sol, raíz, hojas, estomas, cloroplastos, glucosa y oxígeno, atribuyéndole propiedades a cada una de ellas. Para la entidad: hoja, Jorge le atribuye propiedades como “*el órgano fundamental donde se da la fotosíntesis, sitio donde se encuentran los estomas y los cloroplastos*” (Anexo IC). Al explicar las propiedades de la entidad, el profesor le asigna a la hoja un lugar importante de la planta, debido a que se encuentra dotada de estructuras microscópicas responsables de la fotosíntesis, siendo estas estructuras, otras entidades presentes en el concepto fotosíntesis.

Para la entidad estomas, afirma que “son la célula que se encuentran en las hojas, permite la entrada de sustancias como gas carbónico y agua en forma de vapor, permite la salida del oxígeno, produce glucosa”. Las tres propiedades que caracterizan a esta entidad le conceden la

función de absorber o captar sustancias, pero también la capacidad de eliminar sustancia y le confiere el sitio donde la glucosa se produce.

Sobre la entidad cloroplasto menciona que “es un organelo celular que se está en la hoja, toma lo que ingresa por los estomas (agua en forma de vapor y gas carbónico) y produce sustancias que salen como el oxígeno”. Las propiedades son básicamente de localización y de la función de producir el oxígeno.

El profesor Jorge le atribuye dos propiedades a la entidad sol: permite en el árbol sintetizar y emite luz. Faltándole atributos que expliquen cómo participa ésta entidad en la fotosíntesis.

Las relaciones que caracterizan al modelo del profesor con respecto a las propiedades dadas en las entidades del concepto fotosíntesis son:

- Por el estoma entra gas carbónico y vapor de agua, a su vez el agua también puede entrar por la raíz en forma líquida y por este lugar donde entran estas sustancias, también hay salida de oxígeno y producción de glucosa, la cual queda y se reparte por toda la planta. El profesor relaciona seis entidades,
- El cloroplasto que está en la hoja es el encargado de tomar lo que ingresa por los estomas, produciendo oxígeno.
- El oxígeno producido en la fotosíntesis es utilizado por los seres humanos para la respiración y el gas carbónico expulsado en la respiración es utilizado en la fotosíntesis.

Para Jorge, la fotosíntesis en las plantas se realiza en zonas específicas mediante etapas: la toma de sustancias del exterior por estructuras especializadas de la planta, la transformación de sustancias captadas en productos, la eliminación del oxígeno y la distribución de la glucosa en el interior de la planta. Otro aspecto para destacar en este constituyente, es la conexión de la fotosíntesis con otros seres vivos, es decir, desde lo propio del organismo fotosintético hasta la

interdependencia con los otros organismos. El profesor también relaciona este concepto con conceptos como equilibrio, sostenibilidad y su importancia en la vida de los organismos de manera particular en la humana al relacionarla antagónicamente con el proceso de la respiración.

Las reglas de inferencia que caracteriza este aspecto son:

- Si hay producción de glucosa entonces hay salida de oxígeno para la respiración humana.
- Si no hay fotosíntesis entonces no es posible el proceso de respiración en los seres vivos.

A manera de síntesis, desde el modelo ONEPSI, el posible modelo mental del profesor Jorge sobre el concepto fotosíntesis es un proceso complejo que se realiza mediante etapas, en el cual las plantas utilizan estructuras verdes como las hojas para captar agua y gas carbónico por los estomas, produciendo glucosa para la plantas en los estomas y oxígeno en los cloroplastos, que sale para la respiración de otros seres vivos como los seres humanos.

Es importante resaltar las analogías que caracteriza al modelo mental del profesor, al relacionar la producción de oxígeno en los cloroplastos con un edificio o una industria. Utiliza comparaciones antagónicas entre la respiración y la nutrición vegetal con los seres humanos. La comprensión se consigue porque la analogía facilita el desarrollo de modelos conceptuales del tópico y permite la transferencia de conocimiento, desde el análogo al tópico. Es importante destacar que, Jorge al explicar su modelo de fotosíntesis siempre se plantea preguntas como: “...*involucra varias partes, ¿cuáles son?, primeramente la entrada de las sustancias... ¿qué sale?, el oxígeno...*”. Finalmente al explicar el concepto lo enmarca contextualizándose en el aula con los estudiantes: “...*que le hablo yo a los muchachos... yo les enseño...aquí a los muchacho cuando vemos este antagonismo y se los coloco en el ambiente... la naturaleza nos enseña a nosotros a ser sostenible, ¿Dónde nos enseña a ser sostenibles con estas reacciones*”(Anexo IC).

7.3.4 Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Jorge con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis

Para brindar una aproximación teórica del modelo mental explicativo (MME) de Jorge, con el modelo científico erudito (MCE) del concepto fotosíntesis elaborado por el grupo investigador, se hace necesario contrastar las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia presentes en el caso en mención, con las referenciadas en el modelo científico (Anexo IIC).

A continuación se contrastan las entidades presentes en el MME de Jorge con el MCE, en el mismo orden de su explicación, la cual inicia con la entidad sol, atribuyéndole como propiedad: i) permitir en el árbol sintetizar y ii) emite luz y es importante para la planta. La primera propiedad presenta poca claridad, pues no explica a profundidad cómo es el proceso de síntesis que menciona Jorge para el caso de las plantas. En cuanto a la emisión de luz, no especifica los efectos de ésta para la fotosíntesis, sobre todo en el proceso de activación de la clorofila.

Por otra parte, para Jorge la entidad hoja, es el órgano dónde tiene lugar la fotosíntesis, relacionando la entidad en mención con los estomas. De ésta enuncia que es una célula que capta gas carbónico y vapor de agua. Para el MCE, tanto las hojas como el sistema estomático están relacionados, tanto que comparten relaciones y reglas de inferencia, en el cual la entidad hoja se le atribuye como propiedad, la capacidad de realizar fotosíntesis y posibilitar el intercambio de gases [CO_2 , O_2 y vapor de agua (H_2O)]; esto último está relacionado con la propiedad de captación de dióxido de carbono y vapor de agua que manifiesta Jorge, sin embargo, omite que por medio de los estomas además de la captación mencionada ocurre liberación de oxígeno.

En cuanto a la entidad gas carbónico, Jorge destaca que ingresa a la planta por medio de los estomas, aspecto que está acorde con la propiedad definida para la entidad en mención en el MCE.

La entidad agua tiene una particularidad, pues Jorge aclara que esta entidad entra en forma de vapor por los estomas y asciende por la raíz de forma líquida, aspectos que están coherente con el MCE; sin embargo, Jorge no especifica la propiedad que posee ésta entidad para romperse en sus componentes por impacto de un fotón, liberando oxígeno y cediendo sus protones (H^+) para reducir el NADP todo esto en presencia de luz. Además, Jorge no enuncia en su MME la capacidad que tiene el agua para convertirse en savia bruta, es más, ésta entidad no es usada por Jorge para explicar el proceso fotosintético.

Como es notorio en la propiedad atribuida al agua, hay otra entidad relacionada y es precisamente la raíz. Para Jorge, ésta entidad tiene la capacidad de dejar entrar agua líquida, afirmación correcta según el MCE, sin embargo, la raíz, además de tener la capacidad para fijar la planta al suelo, los pelos absorbentes de la raíz al contacto con la savia bruta la absorben, haciéndola llegar al tallo y a las hojas; Jorge en su explicación no menciona la entidad savia bruta.

La entidad cloroplastos está relacionada para Jorge con el oxígeno, especificando en la capacidad de éstos para producir sustancias que son liberadas, como es el caso del oxígeno, aspecto que es coherente con el MCE; solo que no especifica a profundidad el proceso de producción de esta sustancia, además de lo anterior, Jorge enuncia esta entidad como un gas productor de vida.

Jorge a la entidad glucosa le atribuye la capacidad de permanecer en la planta y distribuirse por esta, lo cual guarda relación con el MCE, sin embargo, Jorge en su MME manifiesta que la glucosa es producida en los estomas de la planta, afirmación errónea pues no es precisamente en los estomas donde se da la reducción del dióxido de carbono en glucosa, sino en los estromas.

En el MME de Jorge están presentes entidades relacionadas con el concepto fotosíntesis, las cuales son abordadas desde el MCE (Anexo IIC), sin embargo, al relacionar las entidades, se distancia sustancialmente de éste. La explicación de Jorge la orienta de forma general sin

especificar aspectos abstractos del concepto, cabe resaltar que el nivel de abstracción que Jorge le brinda al proceso fotosintético es definir los estomas como una célula.

Teniendo en cuenta la caracterización de Jorge, se muestra que tiene la responsabilidad de enseñar en los grados decimo y once, por tanto, su currículo y actos pedagógicos deben estar orientados en los estándares básicos de competencias para este conjunto de grados, aclarando que es precisamente en este aparte de los estándares donde se enuncia el concepto fotosíntesis así: *“Argumento la importancia de la fotosíntesis como un proceso de conversión de energía necesaria para organismos aerobios”* (MEN, 2006, p. 140). Jorge, en su explicación, no menciona el proceso de conversión de energía lumínica en química, pero si enfatiza en la importancia del proceso para la vida del planeta, pues define al oxígeno como un gas productor de vida.

7.3.5 Análisis del cuestionario

A continuación se presenta un ejemplo del análisis de las respuestas del cuestionario de conceptos del caso Jorge, a manera de síntesis se escogió una pregunta donde la docente corrobora aspectos del proceso de fotosíntesis sustanciales para el análisis y otra donde sus respuesta se aleja del modelo científico erudito (Anexo IIIC-IVC).

Según el cuestionario de concepciones sobre fotosíntesis, el docente Jorge presenta características en su modelo mental muy marcadas, reconoce estructuras de la planta donde se lleva a cabo el proceso, realiza una relación entre el proceso de respiración y la fotosíntesis en cuanto al intercambio gaseoso, corroborándolo en el cuestionario, sin embargo su idea de que la fotosíntesis sólo se da en el día se aleja del modelo científico. Se concluye que desconoce aspectos químicos relevantes en el proceso.

Tabla 7-6 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Jorge

Preguntas	Respuestas	Análisis	Sustentación teórica modelo científico erudito
¿El producto que se elimina durante el desarrollo del proceso de la fotosíntesis es él?	a. Oxígeno.	El maestro reconoce que el oxígeno es el producto que se libera al terminar el proceso de fotosíntesis. Como lo manifiesta en su discurso donde establece la importancia del proceso de fotosíntesis con el proceso de respiración humana.	La evolución de los organismos fotosintéticos, que usan el dióxido de carbono como fuente de carbono y liberan oxígeno, represento una importante innovación y como consecuencia se produjo una nueva atmosfera rica en oxígeno. (Curtis y Barnes 2001).
¿La fotosíntesis resulta beneficiosa para la humanidad por?	a. Favorece el intercambio de gases y nutrientes.	Tanto en la representación gráfica como en el instrumento en voz alta, Jorge destaca con ayuda de flechas el intercambio de gases, sin embargo al analizar esto con el modelo científico la opción que más se acerca al dar una visión más precisa sobre los beneficios que para la humanidad tiene es que favorece el proceso de respiración.	La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se produce el alimento y el oxígeno necesario para la respiración de todos los seres vivos. (Barceló 1983).

7.3.6 Alcances y limitaciones del modelo

Una vez analizada los datos suministrados por los instrumentos de la investigación, se describe una posible aproximación del modelo mental del profesor Jorge, entorno al concepto fotosíntesis, caracterizándolo como:

- La fotosíntesis en las plantas no es un proceso sencillo, se realiza en zonas verdes de la planta como las hojas, se realiza mediante etapas: la toma de sustancias (gas carbónico y agua) del exterior por medio de estructuras microscópicas especializadas de la planta como los estomas y cloroplastos; la transformación de las sustancias en estas mismas estructuras; la eliminación del oxígeno y la distribución de la glucosa en el interior de la planta.
- La fotosíntesis es una de las principales reacciones de la vida porque además de permitir la alimentación, permite la respiración de los seres vivos de manera especial la humana.

- La fotosíntesis y la respiración son procesos antagónicos donde la primera capta gas carbónico y eliminar oxígeno y la segunda capta oxígeno y elimina gas carbónico, generando equilibrio, sostenibilidad y la interdependencia de los seres vivos entre sí y con el resto de la naturaleza.

- Se puede considerar que el posible modelo mental del profesor presenta concepciones de tipo nutricional por la producción de glucosa, muy cerca de la circulación de sustancias por la distribución de la glucosa por toda la planta y concibe, de manera muy clara, la relación de la fotosíntesis con la respiración como principales reacciones de sostenibilidad y equilibrio de la vida en la naturaleza.

A continuación, se resaltan algunos aspectos del profesor Jorge al contrastarlo con el Modelo Científico Erudito:

- Desde la perspectiva ontológica del posible modelo mental del profesor, se pudo evidenciar un acercamiento al Modelo Científico Erudito cuando le atribuye propiedades a algunas entidades presentes en el concepto.

- Es evidente una distancia al Modelo Científico Erudito cuando explica la producción de la glucosa en los estomas, debido a que en estas estructuras no es donde se da la reducción del dióxido de carbono en glucosa, sino en los estromas de los cloroplastos.

- Jorge utiliza nueve entidades, pero las propiedades señaladas son limitadas respecto a las reacciones dependientes de la luz, dado que Jorge no especifica los efectos de esta para la fotosíntesis, sobre todo en el proceso de activación de la clorofila, por ejemplo, a la entidad Agua no la relaciona con la fotólisis que libera el oxígeno.

- Al seguir contrastando ambos modelos, se evidencia la ausencia de entidades relacionadas con: estructuras internas de los cloroplastos como tilacoides, el pigmento clorofila pigmento clave

en el proceso; las reacciones dependiente de la luz que se presenta en los tilacoides, por ejemplo, la fotólisis desconocen; procesos enzimáticos y moléculas productoras de energía.

De acuerdo a la línea de tiempo del desarrollo del concepto fotosíntesis, se puede establecer que el posible modelo mental del profesor Jorge presenta entidades propias de la edad moderna como: agua, luz solar, plantas verdes y CO_2 . Paralelamente utiliza entidades propias de la edad contemporánea, como: glucosa, oxígeno y lo involucra con los ecosistemas. El grupo investigador considera que el profesor Jorge se encuentra en un modelo de transición de los dos tiempos moderno y contemporáneo.

El modelo mental se caracteriza por presentar concepciones de tipo nutricional vegetal organizada con insuficiencias explicación químicas: El modelo presenta ser muy significativo al conectarlo con la sostenibilidad y equilibrio con los seres vivos y el resto de la naturaleza, lo cual posiciona a las plantas como organismos fotosintéticos como seres vivos importantes para la vida de nuestro planeta.

7.4 CASO ESTHER

7.4.1 Caracterización

Esther es una docente de 38 años de edad y 15 años de experiencia en el sector oficial. Es Licenciada en Biología y Química y Magister en Educación; labora en una Institución Educativa del sector oficial, ubicada en la Localidad Norte Centro Histórico de la ciudad de Barranquilla y orienta el Programa de química en los grados décimo y undécimo de Educación Media.

7.4.2 Representación gráfica de la fotosíntesis

Se solicita realizar una representación gráfica del modelo mental explicativo que tiene la docente Esther a cerca del concepto fotosíntesis, ante lo cual inicia la estructuración de un proceso particular en el que se muestran símbolos, formulas, dibujos y líneas, involucrados en el desarrollo

del proceso en estudio. En el gráfico se evidencian entidades, relaciones e igualmente se distinguen partes microscópicas y macroscópicas propias del concepto en mención. A continuación se presentan de manera detallada los componentes de su gráfico.

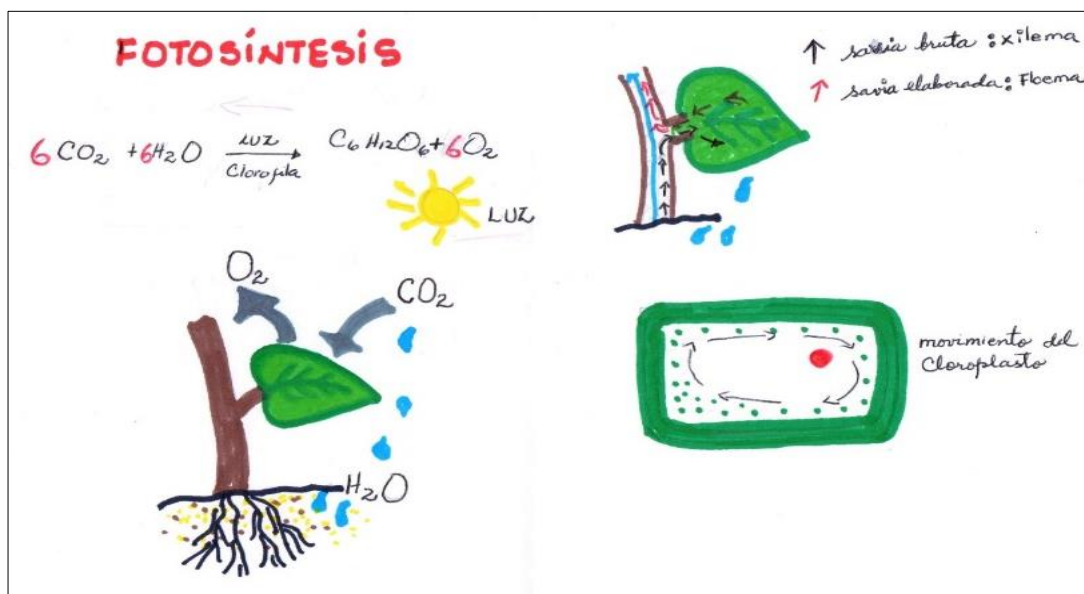


Figura 7-4 Representación gráfica 4. Caso Esther

En el dibujo de Esther se vinculan las entidades directamente con el concepto fotosíntesis, iniciando con la ecuación que representa científicamente este concepto. Las entidades presentes se expresan con la fórmula química tanto de los reactivos dióxido de carbono y agua, como los productos glucosa y oxígeno, mostrado en las cantidades requeridas para el proceso, estas cantidades están de un color (rojo) diferente al resto de la ecuación. En medio de la ecuación aparece una flecha con las entidades luz y clorofila, la primera ubicada en la parte de arriba de la flecha y la segunda debajo de esta.

Seguidamente la docente dibuja un árbol con solo una hoja de color verde, un tronco de color marrón, raíces de color negro, el suelo y las sales minerales representadas por puntos amarillos y marrones, a un lado la fórmula química del agua, representadas por gotas azules que

caen hasta las raíces, igualmente muestra gotas azules que parecen caer desde arriba hasta las raíces. Del tronco sale una hoja de color verde la cual tiene en su parte superior dos flechas gruesas y semicurvas: una flecha señala hacia la hoja la entrada de dióxido de carbono, mientras que la otra flecha señala la salida del oxígeno; más arriba quedando debajo de las formulas en la parte superior del árbol, aparece la entidad luz, nombrada y dibujada, coloreada con amarillo.

En el tercer dibujo, la docente representa un corte transversal del tallo, esto con el fin de evidenciar los vasos conductores con flechas negras, pero omitió las raíces, sin embargo, aquí la docente en estudio evidencia la capacidad de la raíz para absorber agua y sales minerales, las cuales son transportadas hacia las hojas, mediante el xilema. Esta estructura se destaca con flechas sucesivas de color negro, lo que corrobora a manera de signo convencional al lado derecho del dibujo con la anotación “savia bruta: xilema”; igualmente, usa flechas sucesivas de color rojo que salen de la hoja hacia el cuerpo de la planta por los vasos conductores, llevando el producto del proceso: savia elaborada o glucosa, especificada con la anotación “savia elaborada: floema”. En este aparte también hay gotas azules, se supone que es el agua por las características que le atribuyó la docente en el segundo dibujo y, dentro del corte transversal, la docente dibujó una flecha azul que indica que hay ascenso de agua por el tallo.

Como cuarto dibujo se muestra la representación de un cloroplasto y en su interior flechas circulares, en dirección a las manecillas del reloj, que simulan el movimiento del cloroplasto cuando se excita por presencia de la luz solar, en un medio pigmentado de verde.

Como es notorio, Esther presenta de forma organizada su modelo mental explicativo, partiendo de la ecuación que representa el proceso a nivel erudito, luego brinda una visión amplia del mismo, iniciando con aspectos microscópicos (apoyada en la ecuación), luego toca aspectos

externos de la planta, hasta llegar nuevamente a lo microscópico (cloroplasto), se observa que va desarrollando el concepto desde lo general hasta lo particular del proceso.

Seguidamente se realizará el análisis de la explicación dada por la docente y en ella se establecerá detalladamente las entidades y propiedades, como también las relaciones y reglas de inferencia presentes en su manifestación verbal.

7.4.3 Análisis del protocolo de pensamiento en voz alta abordado desde el modelo ONEPSI

Al solicitar a la profesora Esther explicar su dibujo sobre fotosíntesis, se identifica y analiza en su discurso el uso de entidades y propiedades que establecen el constituyente ontológico, las relaciones entre las entidades y las reglas de inferencia corresponden al constituyente epistemológico. A continuación, se resumen las representaciones proposicionales evidenciadas del concepto fotosíntesis de la profesora Esther, organizadas y sistematizadas con apoyo del modelo ONEPSI.

Tabla 7-7 Matriz ONEPSI para el análisis del discurso: Caso Esther

CASO ESTHER	Constituyente Ontológico		Constituyente Epistemológico	
	Entidades	Propiedades	Relaciones	Reglas de inferencia
<p>– La fotosíntesis es una reacción, es un proceso mediante el cual las plantas elaboran su propio alimento.</p> <p>– Es una reacción química (ecuación química).</p> <p>– Proceso de captación y transformación de la energía lumínica en energía química.</p>	Dióxido de carbono	Es un reactivo en la ecuación química de la fotosíntesis. Ingresa a través de los estomas		
	Agua	Es un reactivo en la ecuación química de la fotosíntesis. Capacidad para convertirse en savia bruta. Es absorbida por la raíz de la planta	Para el proceso fotosintético se utilizan 6 moles de dióxido de carbono con 6 moles de agua en presencia de luz solar y clorofila, que actuarían como catalizadores para producir un mol de glucosa y 6 moles de oxígeno.	<i>Si existe luz solar entonces es posible el proceso fotosintético.</i>
	Luz solar-Energía lumínica	Actúa como catalizador en el proceso fotosintético. Excita a los cloroplastos. Permite el movimiento de los cloroplastos. Se transforma en energía química.	Las zonas verdes de la planta poseen estomas, los cuales permiten el ingreso de dióxido de carbono y salida de oxígeno en presencia de luz solar.	<i>Si ingresan a la hoja dióxido de carbono y agua en presencia de luz y clorofila, entonces se producirá glucosa y oxígeno.</i>
	Clorofila	Actúa como catalizador en el proceso fotosintético.	Las plantas poseen vasos conductores para transportar la savia bruta que son los minerales y el agua que ascienden por el tallo hasta llegar a las hojas, y es en esta donde se da el proceso de la fotosíntesis.	<i>Si la luz solar actúa como catalizador entonces los cloroplastos se moverán en forma circular y se producirá glucosa y oxígeno.</i>
	Sales minerales	Asciende por el tallo hasta llegar a las hojas. Capacidad para convertirse en savia bruta.	La luz actúa como catalizador y ayuda a excitar los cloroplastos, ellos durante ese proceso se mueven en forma circular.	
	Raíz	Absorbe agua y sales minerales		
	Vasos conductor es (TUBOS)	Transporta savia bruta y savia elaborada hacia el resto de la planta.	El cloroplasto posee unas estructuras especiales llamadas citocromos, en estos se da el proceso de captación y transformación de la energía lumínica en energía química.	<i>Si no es posible el proceso fotosintético, entonces las plantas no podrán alimentarse</i>
	Tallo	Conducen la savia bruta (sales minerales y agua)	La planta distribuye la savia elaborada o glucosa hacia el resto de la misma, para alimentarse.	
	Hoja	Se da la toma de dióxido de carbono. Son verdes.		

	Recibe a los minerales y el agua. (savia bruta) Se da el proceso de la fotosíntesis. Elimina oxígeno.
Savia bruta	Asciende por el tallo
Estomas	Capacidad para tomar dióxido de carbono, y libera oxígeno.
Cloroplas tos	Se excitan y tienen movimiento circular (ciclosis) en presencia de luz solar Se encuentra en las zonas verdes Capacidad para captar y transformar la lumínica en energía química.
Glucosa- Savia elaborada	Es un producto de la fotosíntesis Se produce durante la fotosíntesis. Se distribuye por toda la planta.
Oxígeno	Se elimina por los estomas.

En el caso de Esther, es notorio la generación de catorce entidades básicas del modelo fotosíntesis, como son: dióxido de carbono, agua, luz solar, clorofila, sales minerales, raíz, vasos conductores, hojas, savia bruta, estomas, cloroplastos, glucosa y oxígeno, atribuyéndole propiedades de acuerdo a su modelo mental, siendo esto el constituyente ontológico del modelo. Dichas características hacen referencia a acciones como: absorber, transformar, transportar, entre otras.

Esther inicia la explicación de su modelo definiendo el concepto fotosíntesis como una reacción química, donde es notoria la transformación de entidades, en la que es posible resaltar reglas de inferencia para su modelo mental, que coadyuvan en el análisis e interpretación del caso. Cabe anotar que las relaciones y reglas de inferencia son el constituyente epistemológico del modelo.

La transformación de las entidades se evidencia en la ecuación química que representa el modelo erudito, acentuando en las entidades agua y dióxido de carbono como reactivos, oxígeno y glucosa como producto y luz solar y clorofila como catalizadores de la reacción, con esto la docente presenta una visión general del proceso fotosintético.

Para Esther el agua, además de ser reactivo, es absorbida por las raíces de las plantas, cuando llueve o las personas riegan, esta se mezcla con las sales minerales para convertirse en savia bruta, luego con ayuda de los vasos conductores, (sin especificar cuál) asciende por el tallo y llega hasta las hojas o hasta las zonas verdes de la planta, como es evidente para la docente las plantas realizan fotosíntesis no sólo en las hojas, sino en las zonas verdes de las plantas, argumentando que es en estas zonas donde se ubican los estomas. Cabe anotar que se tiene en cuenta aspectos de la explicación de Esther para alimentar el análisis desde el modelo ONEPSI.

En cuanto al dióxido de carbono que también lo toma como un reactivo del proceso, la docente señala que ingresa por los estomas de las hojas. La entidad clorofila y luz solar o energía lumínica, Esther le atribuye la propiedad de ser catalizadores del proceso, además es tomado como aquella que permite la excitación y movimiento de los cloroplastos, hasta convertirse en energía química. Esther también señala que los cloroplastos poseen unas estructuras especiales llamadas citocromos, donde se da el proceso de captación y transformación de la energía lumínica en química.

A la entidad estoma, Esther la presenta como aquella que permite la entrada de dióxido de carbono y salida de oxígeno. El oxígeno es tomado como un producto del proceso fotosintético, el cual está presente en la atmosfera y sirve para la respiración humana. La glucosa o savia elaborada como también le llama, es tomada no solo como un producto de la reacción sino como aquella que se distribuye por toda la planta.

Los anteriores aspectos incitan a la constitución de reglas de inferencia, propias del constituyente epistemológico, estas reglas subyacen de la forma como la profesora relaciona las entidades dentro de su explicación, las cuales dependen de los procesos fotosintéticos que la docente va incorporando en su modelo.

Es importante anotar que Esther señala: ... *“Se da la toma de dióxido de carbono a través de los estomas de la planta y se elimina el oxígeno después del mismo proceso, en presencia de luz solar”* (Anexo ID), reconociendo una etapa de la fotosíntesis, las reacciones dependientes de la luz. La docente reconoce que se elimina oxígeno después del mismo proceso, en presencia de luz solar, afirmando con esto que el oxígeno se obtiene en presencia de luz. En la fase lumínica la docente solo destaca que la luz al actuar como catalizador excita y mueve a los cloroplastos.

Algo importante del modelo mental explicativo de Esther, es que le da a la fotosíntesis un valor nutricional cuando enuncia: “*La planta distribuye la savia elaborada que sería propiamente la glucosa hacia el resto de la planta, hacía toda la planta*” (Anexo ID. Esther destaca con lo anterior el papel autótrofo de las plantas, para ella, la finalidad de la fotosíntesis se centra en la capacidad que tiene la planta para elaborar su propio alimento.

7.4.4 Aproximación teórica del modelo mental explicativo del caso Esther con el Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis

Para brindar una aproximación teórica del modelo mental explicativo (MME) de Esther, con el modelo científico erudito (MCE) del concepto fotosíntesis, se hace necesario contrastar las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia presentes en el caso en mención, con las referenciadas en el modelo científico.

En el MME de Esther (Anexo IID), se presentan entidades conceptuales y relaciones que van acorde con el modelo científico erudito, analizándolas en el mismo orden en que las manifestó en su explicación.

Esther atribuye a la entidad dióxido de carbono y agua, la propiedad de ser reactivo, reconociendo que sin estos no es posible llevar a cabo la fotosíntesis. Para Esther, la entidad agua se mezcla con las sales minerales y se convierte en savia bruta; de igual forma, Esther explica que la savia bruta asciende por el tallo con ayuda de los vasos conductores, pero no especifica por cuál de los vasos conductores asciende la savia bruta, al comparar este aparte con el MCE del concepto en estudio, es evidente que en él se especifican el nombre de los vasos o tubos conductores, estos son: el xilema y floema, el primero de los tubos es quien realiza la función descrita por Esther.

Siguiendo con la entidad savia bruta, Esther menciona que esta entidad llega hasta las hojas o hasta las zonas verdes de la planta, como es evidente para la docente las plantas realizan fotosíntesis no sólo en las hojas, sino en las zonas verdes de las plantas, argumentando que es en estas zonas donde se ubican los estomas, estando en coherencia con el MCE.

En cuanto a la entidad dióxido de carbono que también lo toma como un reactivo del proceso, la docente señala que ingresa por los estomas de las hojas, sin explicar el proceso de fijación de este y conversión en glucosa, es decir, para Esther el dióxido de carbono es un reactivo simplemente, no lo relaciona con la entidad glucosa. Cabe anotar que para Esther esta entidad es un producto, pero no aclara que se obtiene del dióxido de carbono, esta anotación va acorde con el MCE referenciado.

Para Esther, la clorofila y la luz solar son catalizadores del proceso, es decir, ayudan a acelerar la reacción química que ocurre representada con una ecuación, es importante anotar que además de atribuirle a la luz solar propiedad de catalizador, también es tomado como aquella que permite la excitación y movimiento de los cloroplastos, hasta convertirse en energía química, estando en coherencia con el MCE. Esther también señala que los cloroplastos poseen unas estructuras especiales llamadas citocromos, donde se da el proceso de captación y transformación de la energía lumínica en química, sin embargo es notorio un distanciamiento con el MCE, pues no son los citocromos los responsables de este proceso, son los tilacoides, estas según el modelo de referencia, son una serie de membranas que se encuentran al interior de los cloroplastos, las cuales contienen los pigmentos fotosintéticos.

A la entidad estoma mencionada anteriormente, Esther la presenta como aquella que permite la entrada de dióxido de carbono y salida de oxígeno, guardando relación con lo descrito en el modelo científico de referencia. El oxígeno por su parte es tomado como un producto del

proceso fotosintético, el cual está presente en la atmosfera y sirve para la respiración humana; al igual que con la entidad dióxido de carbono, la docente no muestra el proceso de transformación que se da con la entidad oxígeno, solo lo muestra como producto de una reacción, sin especificar que se obtiene de la ruptura de la molécula de agua, por acción de los fotones. La glucosa o savia elaborada como también le llama, es tomada no solo como un producto de la reacción sino como aquella que se distribuye por toda la planta, incurriendo con esto en el proceso de circulación vegetal.

Es importante anotar que Esther a la entidad estoma, le atribuye la propiedad de tomar dióxido de carbono y eliminar el oxígeno en presencia de luz solar, existe aproximación teórica del modelo mental de Esther con el MCE, debido a que en este último se enuncia el sistema estomático de la hoja, definido como el conjunto de células que facilitan la entrada de dióxido de carbono y liberación del oxígeno, por otro lado Esther solo reconoce una etapa de la fotosíntesis, la fase lumínica, sin tener en cuenta la fijación del carbono o también llamado ciclo de Calvin o fase oscura, ciclo donde es posible la producción de glucosa. Cabe anotar que la docente reconoce que se elimina oxígeno en presencia de luz solar, está afirmando que el oxígeno se obtiene en presencia de luz, lo cual es acorde con el modelo referenciado.

En la fase lumínica la docente solo destaca que la luz al actuar como catalizador excita y mueve a los cloroplastos, en este punto no relaciona la entidad luz solar con la entidad clorofila, es decir no reconoce que es precisamente la molécula de clorofila compactada de un modo especial en las membranas Tilacoidales, la que absorbe la luz solar, por consiguiente no destaca que los electrones de las moléculas de la clorofila son lanzados a niveles energéticos superiores, y, en una serie de reacciones, su energía adicional es usada para formar ATP a partir de ADP y para reducir una molécula transportadora de electrones conocida como NADP^+ . El hidrogeno del agua se

combina con el aceptor NADP^+ , para formar NADPH. Esto se corrobora cuando la docente enuncia que se da un proceso de transformación de energía lumínica a química, obviando que durante el proceso fotosintético existe transformación no solo de lumínica a química, sino que existe una energía eléctrica que media el paso para la producción de la química, y que esas moléculas energéticas generadas, (ATP y NADP^+) en las reacciones dependientes de la luz dan paso para la siguiente etapa del proceso, la cual es la fijación del carbono.

Las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia del MME de Esther presentan una aproximación teórica a las entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia del MCE (Anexo IID), en donde es evidente el uso de entidades no solo externas de la planta sino internas, esto último por el nivel de abstracción de las entidades y las propiedades asignadas a estas.

Cabe resaltar que según la caracterización del caso en estudio, es evidente que orienta en once grado (11°) y su formación profesional va acorde con la disciplina que tiene cargo, permitiendo que sus actos pedagógicos están enmarcados en los estándares básicos de competencias para el conjunto de grados donde se desempeña, en donde se enuncia: “*Argumento la importancia de la fotosíntesis como un proceso de conversión de energía necesaria para organismos aerobio*” (MEN, 2006, p. 140). El MME de Esther tiene presente el proceso de conversión de la energía, pues así es especificado, además que señala la importancia para los seres vivos en el proceso fotosintético.

7.4.5 Análisis del cuestionario

A continuación se presenta un ejemplo del análisis de las respuestas del cuestionario de conceptos del caso Esther, a manera de síntesis se escogió una pregunta donde la docente corrobora

aspectos del proceso de fotosíntesis sustanciales para el análisis y otra donde sus respuesta se aleja del modelo científico erudito (Anexo IVD).

Tabla 7-8 Fragmento del cuestionario del concepto fotosíntesis Caso Esther

Preguntas	Respuestas	Análisis	Sustentación teórica modelo científico erudito
Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan?	a-Energía lumínica, agua, dióxido de carbono y sales minerales.	La docente Esther reconoce que para llevar a cabo la fotosíntesis, es necesaria la energía lumínica, el agua, el dióxido de carbono y las sales minerales, esto lo corrobora en el instrumento de pensamiento en voz alta y en la representación gráfica. Para la docente el agua y el dióxido de carbono se muestran como reactivos del proceso de fotosíntesis, las sales minerales se mezclan con el agua para formar savia bruta y la energía lumínica actúa como catalizador para acelerar el proceso de la fotosíntesis, permitiendo el movimiento y excitación de los cloroplastos.	La energía lumínica es capturada por los organismos fotosintéticos quienes la usan para formar carbohidratos y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y del agua, en una serie complejas de reacciones. (Curtis y Barnes 2001) Reacción química. $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
¿las plantas realizan la fotosíntesis?	a- Solo en el día	Con esto se evidencia uno de los aspectos relevantes que determinan el modelo mental de Esther ya que de acuerdo al modelo científico el proceso no solo se realiza en presencia de luz solar, al igual que en el instrumento de pensamiento en voz alta y en la representación gráfica, la docente solo refleja que el proceso de fotosíntesis se realiza en el día, no reconociendo la fase oscura o ciclo de Calvin.	En la primera fase de las reacciones lumínicas, la clorofila absorbe la energía proveniente del sol, la cual se convierte en energía eléctrica por la excitación de los electrones de la clorofila., parte de esta energía se dedica a la obtención de ATP y NADP en una serie de reacciones complejas. Estos productos entran en la segunda fase, las reacciones de fijación del carbono para producir carbohidratos (Villegas, Solomon, Davis 1992)

Según el cuestionario de concepciones sobre fotosíntesis, la docente Esther presenta características en su modelo mental muy marcadas desde el punto de vista químico del proceso, ya que reconoce aspectos claves para que se lleve a cabo la fotosíntesis como la reacción química, reactivos y productos, pero se aleja del modelo científico al establecer aspectos del procesos, como que la fotosíntesis solos se da en el día, no reconoce las fase de fijación del carbono, no profundiza en el proceso que se da para que los reactivos se transformen los productos.

7.4.6 Alcances y limitaciones del modelo

Con base en la representación gráfica del concepto fotosíntesis, a la explicación generada a partir de esta; abordada desde el modelo ONEPSI, el cuestionario conceptual, la línea de tiempo construida y el contraste con el modelo científico erudito, el grupo investigador describe una posible aproximación al modelo mental de la docente Esther, entorno al concepto en mención, caracterizándolo como:

- Un proceso en el que se elabora alimento para las plantas verdes, explicándolo desde el punto de vista químico, donde la docente usa hábilmente la representación y características de una reacción química.
- Un proceso de transformación de:
 - a) La savia bruta (sales minerales + agua) en savia elaborada (glucosa).
 - b) Los reactivos: agua y dióxido de carbono en presencia de catalizadores (luz y clorofila) producen glucosa (savia elaborada) y liberan oxígeno.
 - c) La energía lumínica en energía química.

Dentro del MME de la profesora Esther, es posible inferir un modelo organizado que se inicia desde los elementos esenciales que intervienen en el proceso fotosintético (reacción química), luego una explicación de los procesos que tienen lugar gracias a órganos y sustancias externas a la planta (Nivel macroscópico), hasta llegar a los órganos internos y sustancias que subyacen del proceso. (Nivel microscópico).

A continuación se resaltan algunos aspectos del profesor Esther al contrastarlo con el Modelo Científico Erudito:

– Es importante manifestar que un punto clave del MME de la docente Esther es que concibe la fotosíntesis como un proceso de transformación, como se mencionó en el punto anterior, sin embargo, esto no es profundizado; siendo notorio que en las entidades dióxido de carbono y oxígeno, solo toma a la primera como reactivo y a la segunda como producto, sin relacionar que el dióxido de carbono por medio de un proceso de fijación y reducción se convierte en glucosa o savia elaborada y que el agua por medio de un proceso de fotólisis libera el oxígeno; con lo anterior es posible inferir que se debe al desconocimiento de la fase oscura de la fotosíntesis, pues para ella el proceso tiene lugar solo en el día.

– Esther manifiesta que en la fotosíntesis se da un proceso de transformación de energía lumínica a química, dejando a un lado que existe una energía eléctrica que media el paso para la producción de la química, siendo estas importantes para la fase oscura o fijación del carbono.

– Esther menciona que el proceso de transformación de la energía lumínica en química, tiene lugar en los citocromo y no en los Tilacoides como bien lo dice el MCE.

De acuerdo con la línea de tiempo presentada en el marco teórico del presente informe, donde se evidencia las entidades que emergen de cada época histórica del concepto fotosíntesis, Esther por su parte se ubica en la primera etapa de la edad contemporánea, debido a que las entidades que usa, están relacionadas con esta época específica, cabe anotar que los atributos o propiedades asignadas a las entidades en el MME de Ester, están coherentes con el MCE, la dificultad está al momento de relacionar estas entidades entre sí.

Para la docente, la fotosíntesis es un proceso de elaboración del alimento a partir de la absorción (savia bruta) e ingreso (dióxido de carbono) de sustancias que están en la parte externa de la planta, transporte o conducción de estas sustancias en el interior de la planta, ubicación en

sitios específicos (hoja) donde se da la transformación, uno de los productos de la transformación es eliminado (oxígeno) y el otro distribuido a toda la planta (glucosa).

8. CONCLUSIONES

A partir de la revisión del marco teórico y la aplicación de instrumentos para recolección de información bajo un enfoque cualitativo, fue posible identificar elementos claves para la exploración y descripción de los modelos mentales sobre el concepto fotosíntesis, de cuatro docentes que enseñan ciencias naturales, desde el modelo ONEPSI, diseñado por Gutiérrez (2001) y adaptado por López-Gordillo y López-Mota (2013, 2014).

Al determinar las propiedades y relaciones presentes en las entidades referenciadas por los docentes, objeto de estudio, dentro del constituyente ontológico del modelo ONEPSI, las entidades mencionadas con mayor frecuencia sobre el concepto fotosíntesis son: energía solar, hoja, dióxido de carbono, agua, oxígeno, raíz, savia elaborada o glucosa. Cabe anotar que entidades como: clorofila, cloroplastos, xilema, floema, sales minerales y savia bruta, están presentes en el modelo mental explicativo de algunos docentes.

El significado de las entidades está determinado por las propiedades que el docente le asigna, permitiendo la posibilidad de inferir el modelo mental del docente, con respecto al concepto fotosíntesis, destacando la particularidad de cada caso.

Los modelos mentales explicativos en la mayoría de los casos en estudio se encuentran anclados desde el constituyente epistemológico del modelo ONEPSI, a la fase dependiente de la luz y a la circulación de nutrientes en las plantas; pues no se evidencia en uno de los casos, el cual se centra en la capacidad que tiene la energía solar de transformarse en clorofila y pigmentar de

color verde las hojas de las plantas, aunque la clorofila es una entidad importante para el concepto en estudio, como es evidente, la relación establecida entre estas entidades, se distancia sustancialmente del modelo científico erudito. Cabe resaltar que la cantidad de entidades no estipula el grado de profundidad y complejidad del modelo mental explicativo de los docentes, lo cual es demostrado en estudios realizados con profesores, como Astudillo y Gené, (1984); Charrier y Cañal, (2006); Garnica y Roa (2012) y Macías (2013) estos muestran lo abstracto y extenso del concepto y la gran dificultad existente en la hora de enseñar y aprenderlo.

Es notorio que los casos Esther, Gregorio y Jorge son docentes formados en el área de ciencias naturales, al explicar la fotosíntesis, no establecen a profundidad los cambios químicos que suceden en las reacciones propias de la fase dependiente de la luz, como es el caso de la fotólisis que ocurre en los tilacoides, donde el oxígeno es liberado por efecto del rompimiento de la molécula del agua, así mismo no se identifican los procesos de fijación y reducción del carbono, que se lleva a cabo en el estroma de los cloroplastos, correspondientes a la fijación del carbono; aunque en sus discursos mencionan sustancias que ingresan a la hoja y son transformadas en otras. Lo anterior implica que los docentes enfoquen su modelo mental en aspectos generales y poco fundamentados en el modelo científico erudito.

La revisión teórica de los ejes centrales de la investigación, como lo es el concepto fotosíntesis y la teoría de los modelos mentales, permitió construir y validar un Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis en plantas superiores verdes, en donde se referencian entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia; además de una línea de tiempo del recorrido histórico del concepto en estudio, en donde se identifican las entidades que emergen de cada época: Antigua, Moderna y Contemporánea.

Al relacionar las entidades presentes en los modelos mentales explicativos de los docentes, con la línea de tiempo referenciada en el marco teórico, es posible establecer que están enmarcados en las épocas: antigua, moderna y contemporánea. En la edad antigua la entidad raíz, en la moderna la entidad energía solar, agua, dióxido de carbono y oxígeno, y en la contemporánea las entidades clorofila, hoja, savia bruta, savia elaborada y cloroplastos. Cabe destacar que, al usar entidades dentro de la explicación correspondiente a cada una de las épocas, no significa que el modelo mental del docente este sustancialmente de acuerdo con las conceptualizaciones propias que los científicos han atribuido al momento histórico. Al respecto Garnica y Roa (2012) manifiestan que los maestros les falta conocimiento con relación a los hechos históricos sobre el concepto fotosíntesis.

Es importante acentuar que los modelos mentales de los docentes Jorge y Gregorio, presentan una aproximación conceptual de aspectos propios de la ecología y a otros procesos biológicos, resaltando la importancia de la fotosíntesis para la producción de biomásas en las cadenas tróficas y la respiración de los seres vivos. Desde esta perspectiva Stern y Roseman (2004) plantean que la fotosíntesis no es solo una función vital para la nutrición de las plantas, sino también para la dimensión ecológica del planeta.

Se considera entonces que los modelos mentales explicativos evidenciados en los casos, se alejan de las conceptualizaciones que un maestro que enseña ciencias, debe manejar para modelar el concepto de manera adecuada en el aula de clases, lo cual debe estar acorde con el modelo científico erudito; destacando que el concepto fotosíntesis implica un proceso mental complejo, por las entidades abstractas que llevan implícitas, aspecto que es corroborado por Test y Weward (1980), los cuales han demostrado la dificultad que se presenta al construir significativamente el concepto fotosíntesis en nuestras mentes, por ser muy abstracto y de alta demanda cognitiva.

Es importante resaltar que la enseñanza de las ciencias naturales, además de ser interactiva y dialógica, debe ser abierta al análisis de fuentes de información que permitan la reconstrucción de los modelos conceptuales en docentes y por consecuencias en los modelos mentales de los estudiantes.

A partir del presente estudio, se propone una apertura a futuras investigaciones, convirtiéndose en una opción para la reflexión docente fundamentada en modelos, desde los cuales pueden ser abordados otros conceptos en el área de ciencias naturales.

9. RECOMENDACIONES

Una vez desarrollada la tesis “*El concepto fotosíntesis en profesores de ciencias naturales, desde el análisis de sus modelos mentales*”, los autores nos permitimos hacer las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

- Construir un adecuado marco teórico, que fundamente la investigación, oriente la elaboración de instrumentos y aporte al análisis de resultados. No es suficiente con hacer un recuento de investigaciones sobre el tema, se debe realizar un análisis minucioso del contenido de las fuentes bibliográficas consultadas, estableciendo aspectos pertinentes para el propósito de la investigación, estando vigilantes con respecto a la coherencia de enfoques y modelos de investigación.
- Es recomendable en lo posible, participar en eventos donde el tema central haga parte de la investigación, con el fin de poder intercambiar con otros investigadores y expertos en el tema ideas que aporten significativamente al proceso investigativo.
- Para investigaciones que se orienten desde la metodología estudios de casos, se recomienda justificar los casos seleccionados, ofreciendo elementos para abordar el problema de investigación.
- Apegarse al rigor del enfoque de investigación, para evitar inconsistencia en el proceso.

- En la delimitación del problema de investigaciones asociadas a modelos mentales se debe seleccionar un concepto científico, el cual debe estudiarse partiendo de su historia e ideas actuales relacionadas con este.

- Es necesario revisar las políticas educativas y curriculares de la educación en Colombia, esto con el fin de no estar a espaldas de los procesos que viven las instituciones desde su realidad como su fundamentación.

- El equipo recomienda usar el modelo ONEPSI para el análisis de investigaciones que trabajen con modelos mentales.

Para los docentes participantes se les recomienda:

- Teniendo en cuenta que los modelos mentales explicativos del mundo (representaciones) y sus entidades, son susceptibles de ser ampliados, reconstruidos y resignificados, los docentes en sus procesos de preparación y diseño de secuencias didácticas, deben reconocer e integrar distintas entidades como las presentadas en el modelo científico erudito referenciado en el marco teórico, para mejorar los procesos de modelización en la enseñanza de conceptos científicos.

- Los docentes dentro de la didáctica de las ciencias deben realizar constantemente revisiones sobre el modelo científico erudito del concepto fotosíntesis, adaptándolo a la capacidad comprensiva de los estudiantes.

- Los docentes deben identificar que el concepto fotosíntesis posee un nivel de abstracción que amerita un estudio cuidadoso del mismo, con el fin de que este sea estructurado de la mejor forma en los diferentes episodios de aula.

- El concepto fotosíntesis debe ser abordado de manera integral, vislumbrándose a nivel ecosistémico (productor de oxígeno, necesario para la respiración) y nutricional (Alimento para la

planta y el resto de los seres vivo), comprendiendo las causas que lo provocan, así se estudiaría desde su nivel microscópico, resaltando los cambios químicos que están implícitos.

- El modelo científico erudito referenciado en el marco teórico, se convierte en un insumo fundamental para la elaboración de secuencias didácticas, que permitan la construcción de modelos científicos de arriba en torno al concepto fotosíntesis.

- Conformar comunidades de práctica para asumir el estudio de los estándares básicos de competencias en el área de ciencias naturales, lográndose conectar entidades asociadas según el grado de escolaridad en el que se esté orientando, esto favorecería la construcción de modelos explícitos de fotosíntesis.

Cabe anotar que además de las anteriores recomendaciones, se han escogido una serie de actividades didácticas, que les permitan a los docentes construir y reconstruir sus modelos mentales en torno al concepto fotosíntesis. Esta información es recopilada y entregada por medio de un CD que contiene:

- Modelo Científico Erudito diseñado por el grupo investigador y validado a juicio de expertos.
- Videos: Importancia de la fotosíntesis y sus fases: Biología Fotosíntesis_ Academia Aduni.
<https://www.youtube.com/watch?v=7Ky-9nk7N2k>, Publicado el 7 de junio del 2014. Mg. Miguel Ángel Bazán Flores.
- Photosynthesis: Light reaction, Calvin cycle, Electron Transport [3D Animation]
https://www.youtube.com/watch?v=joZ1EsA5_NY Publicado el 5 mar. 2014. See an organised list of all the animations: <http>

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A. (2001). La integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/4695/aab1de3.pdf;jsessionid=6AC3CB61D9C6A90A6667994715D97E49.tdx1?sequence=1>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12 (1):27-43.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2005). “Los modelos teóricos para la ciencia escolar”. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de la Ciencia, pp. 89-101. Publicaciones Universidad de Valencia / Universidad de Barcelona.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2009). “Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales”, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*. 4 (1), pp. 40-49ISSN (Versión electrónica): 1850-6666.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A ‘Semantic’ View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22 (10),1593–1611
- Adúriz-Bravo, A., Labarca, M. y Lombardi, O. (2014). Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguaje. En Merino, Arellanos y Adúriz-Bravo. (Eds.), Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química (pp 37-50). Valparaíso, Chile. Ediciones universitarias de Valparaíso.
- Aliberas, J., Izquierdo, M. y Gutiérrez, R. (2013). IX CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS: El papel de la conversación

didáctica en la modelización y progresión del conocimiento escolar: el caso de la hidrostática en eso.

Amador, Y. (2006). Del modelo del flogisto al modelo de la oxidación una aproximación didáctica a la determinación de modelos mentales en la formación de profesores en química. Tesis de Maestría en Docencia de la Química, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

Aparicio, J. y Hoyos, O. (2008). Enseñanza para el cambio de las representaciones sobre el aprendizaje. Teaching to Change Conceptions about Learning. Revista colombiana. Universitas Psychologica, 7 (3).

Asimov, L. (1982). Introducción a la ciencia. Barcelona: Plaza y Janes.

Astudillo, H. y Gené, A. (1984). Errores conceptuales en biología. La fotosíntesis de las plantas verdes. Enseñanza de las Ciencias, 2(1), pp. 15-16

Barceló, J., Rodrigo, N., Sabater, B. y Sánchez, R. (1983). Fisiología Vegetal. Editorial Pirámide S. A. Madrid.

Baker, J. J. W., & Allen, G. E. (1970). Biología e investigación científica. Bogotá [etc.: Fondo Educativo Interamericano.

Bonner, J. y Galston, A. G. (1959), Principios de Fisiología vegetal, Madrid.

Berg, J., Stryer, L. y Tymoczko, J. (2012). Bioquímica con aplicación clínica. Ed. Biochemistry. 7º ed. W. H. Freeman and company New York.

Buckley, B.C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 895-935.

Bunge, M. (2001). *Diccionario de Filosofía*. México: Siglo XXI Editores.

Caamaño, A. Cañal, P. De pro, A. Pedrinaci, E. (2012). 11 Ideas claves el desarrollo de la competencia científica. Barcelona, España :Grao

- Campbell, N. y Reece, J. (2005). *Biología*. Editorial Médica Panamericana S. A. Madrid
- Cañal, P. (2005). *La nutrición de las plantas: enseñanza y aprendizaje*. Ed. Síntesis. Madrid España.
- Chamizo, J. y Garcia, A. (2014). Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguaje. En Merino, Arellanos y Adúriz-Bravo. (Eds.), *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias: una experiencia de formación con profesores mexicanos en servicio* (pp 79-92). Valparaíso, Chile. Ediciones universitarias de Valparaíso.
- Charrier, M., Cañal, P. y Rodrigo, M. (2006). Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. *Enseñanza de las ciencias*, 24 (3), 401-410.
- Chi, M. T. H. (2008). Three kinds of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and ontological shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). New York: Routledge.
- Chona, G. Arteta, J. Martínez, S. Ibañez, X. Pedraza, M. Fonseca, G. (2006). ¿Qué competencias científicas promovemos en el aula? *Revista Tecne, Episteme y Didaxis* N. 20. Segundo semestre del 2006 pp. 62-79G. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Colombia. (1994). *Ley general de educación: Ley 115 de 1994* (febrero 8). Santafé de Bogotá, D.C: Ecoe Ediciones.
- Curtis, H. y Barnes S. (2001). *Biología*, Sexta edición, Bogotá D.C Editorial Médica Panamericana.

- Domingos-Grilo, P. , Reis-Grilo, C. , Ruiz, C y Mellado, V. (2012). An action-research programme with secondary education teachers on teaching and learning photosynthesis. *Journal of Biological Education* Vol. 46, Iss. 2
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001) Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. el concepto de modelo didáctico analógico. *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*, 19 (2), 231-242
- Galagovsky, L. Bekerman, D. y Di Giacomo, M. (2014). Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguaje. En Merino, Arellanos y Adúriz-Bravo. (Eds.), Enseñanza de la química: lenguajes expertos como obstáculos de aprendizaje (pp 93-106). Valparaiso, Chile. Ediciones universitarias de Valparaiso.
- Gadner, H. (1985). *The mind's new science*. Basic Books. NY. Trad. cast. de L. Wolfson, *La nueva ciencia de la mente*. Paidós. Barcelona, 1988.
- García, T. (2003). El cuestionario como instrumento de investigación/evaluación. Etapas del proceso investigador: Instrumentación. Almendralejo, España.
- Garnica, S. y Roa, R. (2012). Conocimiento didáctico del contenido sobre fotosíntesis de dos profesores de los grados sexto y noveno de educación básica secundaria de un colegio privado en Bogotá Colombia. *Revista Bio-grafía* 8(5), 50-76. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Gest, H. (2001). History of the word photosynthesis and evolution of its definition. Indiana University. Bloomington IN 47405, USA.
- Giere, R. N. (1992). *La explicación de la ciencia. Un acercamiento cognoscitivo*. México: Conacyt. p. 354.

- Giere, R. N. (1999a). “Del Realismo Constructivo al Realismo Perspectivo”, *Enseñanza de las Ciencias* (Núm. Extra), p. 9-13.
- Giere, R. N. (1999b). “Un Nuevo Marco para Enseñar el Razonamiento Científico” *Enseñanza de las Ciencias* (Núm. Extra), p. 63-70.
- Gómez, A. (2005). La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: Una visión escalar. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
<http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0809106-121708/>
- Gómez, A. (2008). Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos? *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 4(2): 83 – 99.
- Gómez, A. (2013). Explicaciones narrativas integradas y modelización en la enseñanza de la Biología. *Revista enseñanza de las ciencias*. 31(1), 11-28.
- Gómez, A. (2014). Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguaje. En Aduriz-Bravo. (Ed.), El uso de representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares (pp 51-62). Valparaíso, Chile. Ediciones universitarias de Valparaíso.
- Gómez, G., Sanmarti, N., y Pujol, R. M. (2007). INVESTIGACION DIDACTICA - Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza De Las Ciencias : Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas*, 25, 3, 325.
- González, A. (1998). Caracterización fotosintética de árboles de la Laurisilva Canaria. Tesis doctoral. Universidad de la Laguna Tenerife. España
- González, R. (2005). Análisis comparativo entre el currículo oficial y la programación de aula en enseñanza secundaria obligatoria, utilizando como marco conceptual la nutrición vegetal, memoria para optar al grado de Doctor en ciencias de la educación, Universidad de Coruña,

- Facultad de ciencias de educación, departamento de pedagogía y didáctica de las ciencias experimentales, Coruña. 614 p.
- González, C., García, S. y Martínez, C. (2012). La nutrición vegetal desde el pensamiento docente. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. Universidad de Cádiz, España.
- González, J. (2000). El paradigma interpretativo en la investigación social y educativa nuevas respuestas para viejos interrogantes. Revista de ciencias de la educación. Cuestiones Pedagógicas, Universidad de Sevilla, España.
- Gutiérrez, R., 1994, *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. Publicada en CDROM: Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid (ISBN: 84-669- 0303-8).
- Gutierrez, R. (2001). Mental Models and the fine structure of Conceptual Change. In: R. Pinto & S. Surinach (eds), *Physics Teacher Education Beyond 2000* [Formación de los profesores de Física. Más allá del 2000] (pp 35-44). París: Elsevier Editions.
- Gutierrez, R. and Pinto, R. (2004), Models and Simulations. Construction of a Theoretically Grounded Analitic Instrument. En: Mechlová (ed), Proceedings: Teaching and Learning Physics in New Contexts. Selected Papers. GIREP 2004 International Conference. University of Ostrava. Ostrava, Czech Republic. p 157-158.
- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto "modelo mental". Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), 209-226

- Guzmán, E., Díaz, M. y Rodiño, E. (2013). La formalización del concepto fotosíntesis a partir del principio de conservación de la energía. Un análisis histórico epistemológico desde la perspectiva de mayer. Universidad de Antioquia.
- Hall, D. y Rao, K. (1977). Fotosíntesis. Barcelona: Omega.
- Harré, R. (1970). El método científico, Madrid: Blume
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). Metodología de la Investigación. México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. Enseñanza de las Ciencias, 17, 45-59.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Johnson-Laird, P. (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Cognición y desarrollo humano. Ed. Paidós. Barcelona.
- Johnson-Laird, P. N. (1993). La théorie des modèles mentaux. En: Ehrlich, M. F
- Johnson-Laird, P. (1996). Images, models, and propositional representations. In: De Vega et al. *Models of visiospatial cognition*. New York: Oxford University Press. p. 90-127.
- Karp, G. (2011). Biología celular y molecular, conceptos y experimentos. (6º.-Ed.). Editorial McGraw Hill. México.
- Kress, G., Charalampos, T. y Ogborn, J. (2001). *Multimodal teaching and learning. The rhetorics of the science classroom*. London: Continuum
- Latorre, A. (2005). La investigación acción. Conocer y cambiar la práctica educativa. 3a edición
- López-Mota, Á. y Moreno-Arcuri, G. (2013). “Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria”. *Revista latinoamericana de Estudios Educativos*. 9 (1), pp. 53-78

- López-Mota, Á. y Moreno-Arcuri, G. (2014). Sustentación teórica y descripción metodológica del proceso de obtención de criterios de diseño y validación para secuencias didácticas basadas en modelos: el caso del fenómeno de la fermentación. *Revista Bio-grafía - Escritos sobre la Biología y su enseñanza.*, 7(13), pp. 109 – 126. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- López-Mota, A. y López-Gordillo, F. (2015). “Una directriz teórico-metodológica para orientar el establecimiento de criterios de diseño y validación de secuencias didácticas basadas en modelos: el caso de la nutrición humana”. Ponencia COMIE 2015
- Macías, L. (2013). Diseño de prácticas experimentales de fotosíntesis para ciclo 3. Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- Marcelo, C. (1987). *El pensamiento del profesor*. Barcelona: Ceac.
- Martínez Carazo, M. C. (2006). El método de estudio de caso. Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y gestión*, 165-193
- McMillan, J. H., & Schumacher, S. (1997). *Research in education: A conceptual introduction*. New York: Longman.
- Moreira, M. (1997). Modelos Mentales. *Revista Brasileira de Investigación en Educación en Ciencias*, 1 (3) p. 193-232.
- Moreira, M. A., & Rodríguez, P. M. L. (2000). *Aprendizaje significativo: Teoría y práctica*. Madrid: Visor.
- Moreira, M., Greca, I., Rodríguez-Palmero, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Investigación en Educación en Ciencias*, 2 (3), pp 84-96

- Moreira, M. A., Caballero, S. C., Rodríguez, P. M. L., & Universidad de Burgos. (2004). *Aprendizaje significativo: Interacción personal, progresividad y lenguaje*. Burgos: Servicio de Publicaciones, Universidad de Burgos.
- Norman, D. A. (1983). Some observations on Mental Models. En: Gentner, D. y Stevens, A. L. (ed), *Mental Models*. LEA. Hillsdale, NJ., p 15-33.
- Vallejo, Y., Obregoso, A., Valbuena, E. (2013). Formación inicial de educadores infantiles que enseñan ciencia natural. IX congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. Universidad Pedagógica Nacional
- Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33 (8) 1109–1130.
- Quintanilla, M., Daza, S. y Merino, C. (2010). Unidades Didácticas en Biología y Educación Ambiental, Volumen 4. Santander, Colombia: Diseños Litodigital
- Ray, P.M. (1964) *La Planta Viviente. Conceptos Modernos de las Actividades Biológicas de las Plantas*, México.
- Resh, H.M. (2006). *Cultivos hidropónicos*, grupo mundiprensa, Barcelona, ed. Dedos: 5 ed. 558 p. ISBN: 84-8476-005-7.
- Rumelhart, D. y Ortony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. En: Anderson, A. C., Spiro, R. J. y Montague, W. E. (eds), *Schooling and the acquisition of knowledge*. LEA. Hillsdale, NJ. Trad. cast. de E. Rubí y S. Tarrat en *Infancia y Aprendizaje*, 19-20, 115-158, 1982.
- Sáenz Guarín, J. (2012). *La fotosíntesis: concepciones, ideas alternativas y analogías*. Universidad Nacional de Colombia.
- Salisbury, F. y Ross, C. (1994). *Fisiología vegetal*. Editora Iberoamérica, México. 759 p.

- Sandín, M. P. (2003). *Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones*. Mexico: McGraw-Hill.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Sylvain, J. y Griggs, P. (2008). An Epistemological Approach to Modeling: Cases Studies and Implications for Science Teaching. *Science Education*, 92, 424–446.
- Schank, R. C. y Abelson, R. D. (1977) *Scripts, plans, goals, and understanding*. LEA. Hillsdale, NJ. Trad. cast. de E. Gilboy y J. Zerón, *Guiones, planes, metas y entendimiento*. Paidós. B. A., 1987.
- Stern, L. y Roseman, J. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research of Science Teaching*, 41, 538-68.
- Talanquer, V. (2014). El rol de las suposiciones implícitas y estrategias heurísticas en el razonamiento de los estudiantes de química. En Merino, Arellanos y Adúriz-Bravo. (Eds.), *Avances en la didáctica de la química, modelos y lenguaje*. pp. 93-105. Chile: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Thagard, P. (1996). *Mind: introduction to cognitive science*. Cambridge, MA: A Bradford Book. The MIT Press.
- Tamayo, O. (2002). De las concepciones alternativas al cambio conceptual en la enseñanza y aprendizaje. Recuperado el 28 de mayo de 2015.
- Tamayo, O. E. (2006). Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. *Revista Educación y Pedagogía*, XVIII (45): 37-49.
- Tamayo, O. (2009). De las concepciones alternativas al cambio conceptual en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Universidad Autónoma de Manizales.

- Tamayo, O. (2011). Informe Final De Investigación: Modelos explicativos de estudiantes acerca del concepto de respiración. Universidad Autónoma de Manizales.
- Tamayo, O. (2013). IX congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias: modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Universidad Autónoma de Manizales.
- Test, D. y Weward, W. (1980). Photosynthesis: teaching a complex science concept to juvenile delinquents. Science Education, 64, 129-139.
- Villee, C., Solomon, E. y Davis, P. (1992). Biología, Segunda edición, México Editorial Interamericana.

ANEXOS

ANEXO I: FORMATO DE TRANSCRIPCIÓN DE GRABACIÓN DE AUDIO

IA Formato de transcripción de grabación de audio Caso Mariluz

IDENTIFICACIÓN:

Institución Educativa: A

Nombre del profesor: Mariluz

Grado en que enseña Ciencias Naturales: 5°.

Concepto explorado: Fotosíntesis –proceso–

Fecha: 4 de Marzo de 2015

Hora: 10:45 a.m

D= Profesor I= Investigador P= Pregunta R= Respuesta

Part	P/R	Explicación verbal del concepto fotosíntesis
1	I P	Profesora Mariluz, Ya está su dibujo terminado, ¿Nos puede Usted explicar, cómo realizó su dibujo sobre la fotosíntesis?
2	D R	“En el poco conocimiento, porque... (se queda pensativa), tengo entendido que la fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas reciben la luz solar, ...(indecisa) y les da con la luz solar, pueden producir la clorofila y esta clorofila es la que da ...(silencio) el color o el pigmento de las plantas, a las plantas para que las hojas eh...(pausa prolongada) sean verdes. Es el proceso mediante el cual el sol al recibir ellos, la energía del sol, el calor que se yo, ellos (silencio) las plantas reciben esa energía del sol y ellos las plantas, se encargan de transformar esa energía en la clorofila, que es el pigmento que le da el color a las hojas, dentro de mi ignorancia, es lo que yo entiendo un poquito”.
3	I P	Seño Mariluz, ¿Desea continuar con su explicación?
4	D R	No Profesora, no ya.
5	I R	Tranquila, Seño Mariluz, muchas gracias.

IB Formato de transcripción de grabación de audio. Caso Gregorio

IDENTIFICACIÓN:

Institución Educativa: B

Nombre del profesor: Gregorio

Grado en que enseña Ciencias Naturales: 5°.

Concepto explorado: Fotosíntesis –proceso–

Fecha: 6 de Marzo de 2015

Hora: 4:30 p.m

D= Profesor I= Investigador P= Pregunta R= Respuesta

Part	P/R	Explicación verbal del concepto fotosíntesis
1	I P	Profesor, ahora le agradecemos que nos cuente ¿Cómo desarrolló Usted ese dibujo sobre la fotosíntesis?
2	D R	“El proceso de la fotosíntesis para las plantas, es muy importante porque como organismos productor -nosotros no lo somos-, no somos productores, eh...(silencio) somos eh... consumidores, entonces ellas eh...(duda) necesitan agua y sales minerales que lo absorben por la raíz, eh...(pensativo) esta agua y sales minerales ascienden por el xilema y a través de la..., (pausa) se convierte en sabia bruta, luego esta...(silencio) las plantas, a medida que va ascendiendo el agua y las sales minerales se convierte en sabia elaborada con la ayuda de los rayos solares o con ayuda del sol. Esta eh...(pausa) ayuda a la fabricación del alimento, tales como los azúcares y esta sabia elaborada se distribuye por toda la planta y nos ayuda también en el proceso de captar el gas carbónico y producir el oxígeno, que es necesario para la respiración, y a la vez, ¡pues aquí! He dibujado un fruto, cuando... en este caso un mango, que ya se ha fabricado -como pueden ver- en la planta su alimento, por eso se dice que somos organismos autótrofos”.
3	I P	Umm, Profesor ¿Qué le agregaría?
4	D R	“Eh... (piensa) después que ya haya hecho, por decir su proceso, que es de fabricar el alimento nos proporciona alimentos a través de eh...(señala) del fruto y que nos proporciona oxígeno, que es necesario para la respiración de nosotros los seres vivos, recordemos: que ellas realizan dos procesos a la vez, el proceso de la fotosíntesis que es cuando eh...(señala) en este caso eh... botan el oxígeno y también ellas respiran, del proceso de la respiración eh... ellas pues toman al contrario, toman el oxígeno por los estomas y botan el gas carbónico”.
5	I	¡Listo!. Bueno Profe muchas gracias.

IC Formato de transcripción de grabación de audio. Caso Jorge

IDENTIFICACIÓN:

Institución Educativa: B

Nombre del profesor: Jorge

Área y grado en que enseña: Química en 11°.

Concepto explorado: Fotosíntesis –proceso–

Fecha: 9 de Marzo de 2015

Hora: 4:30 p.m

D= Profesor I= Investigador P= Pregunta R= Respuesta

Part	P/R	Explicación verbal del concepto fotosíntesis
1	I P	Bueno Profesor, ahora Usted va a explicar ¿Cómo hizo este dibujo?
2	D R	“Lo primero que hice yo, fue el...(señala) el sol”
3	I P	Umm, continúe, por favor
4	D R	“Ya ustedes me dijeron el concepto, y el árbol, o sean es fotosíntesis sintetizar a partir de la luz, sintetizan los árboles emitiendo la luz. (divaga) Entonces comencé el esquema lo hice de la siguiente forma: aquí coloqué esto de verde que indica que es una hoja (señala), que es la que sale acá donde pasa el proceso. Para que se vea, no solamente, sea la hoja pero involucré a la planta porque muchas partes de la planta hacen parte de la fotosíntesis, pero resalté la hoja porque es el órgano fundamental donde se da, entonces: ¿Qué indica esto?, aquí trato de simular o dibujar un estoma (muestra) para que los muchachos vean y comprendan lo siguiente: o sea que la fotosíntesis no es un proceso sencillo, sino que involucra varias partes, ¿Cuáles son? Primeramente la entrada de las sustancias por el estoma, es una célula que interviene ahí, (señala) ¿Qué entra por aquí?, por aquí entra gas carbónico y entra agua, las flechitas indican los colores diferentes o las sustancias diferentes pero el agua también puede ingresar por abajo (señala), o sea pueden ser por aquí entra el vapor, por acá entra el líquido, una vez ya ha entrado en el estoma por este lugar donde entran las sustancias hay salida, ¿Qué sale?, el oxígeno, esto... (señala) acá ya es otro organelo u otra parte en la hoja que es el cloroplasto, el cloroplasto es el que va a tomar lo que ingresó por aquí, es el que va a ser, -lo hice así como si fuera a esto que indica como un edificio o una industria-, algo, que produce las sustancias que salen, que es el gas, si está con rojo sale con rojo, pero a la vez tiene la línea verde, que indica que no es un gas tóxico venenoso como los otros sino gas productor de vida, porque viene de un árbol, como aquí vemos lo que se produce en el estoma, es glucosa, pero eso no tiene parte de salida porque queda en la planta y esto es lo que sale, ahora, esto queda en la planta y obviamente es la repartición que se va a dar para todo -como al momento-, en el esquema que hice”.
5	I P	¿Quiere agregar algo más?
6	D R	“No, aparte de que la fotosíntesis es una de las principales reacciones en la vida y que nosotros aquí podríamos explicar algo fundamental; que si nosotros vemos, aquí se le pude aplicar a los muchachos algo totalmente diferente, que si hacemos esto, por ejemplo; para representar lo que sea en nosotros, de pronto, bueno haciéndolo así de rapidez, haciendo lo nosotros, esto sería lo antagónico de lo que está acá, (y señala) ¿Qué sería esto?, estos son los pulmones o el aparato respiratorio y si nosotros vemos, nosotros siempre tomamos gas...oxígeno para respirar y tendríamos la glucosa como ali...(no finaliza) la degradación final de los alimentos y se produce o sale la expulsión de gas carbónico y el agua, o sea podríamos también con este esquema decirles que esto es lo antagónico a lo que está acá, (muestra) representando dos reacciones tan importantes en los seres vivos, que a la vez sirve para algo también muy

importante, que le hablo yo a los muchachos en estas dos cosas y entonces yo les enseño algo, - aquí a los muchacho cuando vemos esto antagonismo- y se los coloco en el ambiente, yo les digo que lo... la naturaleza nos enseña a nosotros a ser sostenible, ¿Dónde nos enseña a ser sostenibles con estas reacciones?, lo que para ellos desperdician en este momento que es el oxígeno, nosotros lo tomamos para... o lo que nosotros desperdiciamos que es el gas carbónico, ellos lo toman y estamos haciendo un equilibrio, mientras para ellos botan, nosotros estamos capturando o viceversa, estamos viendo, o sea que este concepto lo podemos relacionar con este también a nivel de ciencias y a la vez lo podemos relacionar con lo que es sostenibilidad y dar ejemplo que la naturaleza, en los procesos de los seres vivos los estamos haciendo, las plantas dependen del sol pero también tienen dependencia de nosotros y nosotros totalmente de ellas, también por lo que produce”

ID Formato de transcripción de grabación de audio. Caso Esther

IDENTIFICACIÓN:

Institución Educativa: A

Nombre del profesor: Esther

Área y grado en que enseña: Química de 11°.

Concepto explorado: Fotosíntesis –proceso–

Fecha: 10 de Marzo de 2015

Hora: 10:45 a.m

D= Profesor I= Investigador P= Pregunta R= Respuesta

Part	P/R	Explicación verbal del concepto fotosíntesis
1	I P	Profesora Esther, ahora le agradecemos explicarnos su dibujo “Bueno, entonces la fotosíntesis es una reacción eh... (Pensando), un proceso mediante el cual las plantas elaboran su propio alimento eh... (Pausa). Coloqué inicialmente la ecuación, porque yo en química... me acuerdo... lo primero que se me vino a la cabeza fue la ecuación química, ¿Verdad?, entonces: se utilizan 6 moles de dióxido de carbono con 6 moles de agua en presencia de luz solar y clorofila, que actuarían como catalizadores para producir una mol glucosa en 6 moles de oxígeno; el oxígeno es el que nosotros respiramos que está en la atmósfera eh... (Señala). Hice este dibujo como para graficar bien todo el proceso, la planta absorbe el agua que cae de las nubes o que las personas arrojan cuando riegan las plantas, la absorbe a través de la raíz, en las plantas...(muestra la raíz) en las hojas o en las zonas verde de la planta, no necesariamente en las hojas, algunos plantas también tienen partes del tallo verde, entonces, en las zonas verdes es donde se da el proceso de fotosíntesis, aquí coloco solamente en la hoja, porque la hoja es lo que está verde, entonces para diferenciar que es en la zona verde: entonces se da la toma de dióxido de carbono a través de los estomas de la planta y se eliminan el oxígeno después del mismo proceso en presencia pues de la luz solar, entonces la luz actúa como catalizador y ayuda a excitar los cloroplastos, ellos durante ese proceso pues también tienen un movimiento, este diagrama que está acá(señala), es para representar el...los tubos que tiene la planta para transportar la savia bruta que serían los minerales y el agua que ascienden por el tallo hasta llegar a las hojas y se da el proceso de la fotosíntesis y la forma en que la planta distribuye la savia elaborada, que ya sería propiamente la glucosa hacia el resto de la planta, hacia toda la planta, entonces lo coloque con 2 flechas de diferentes colores para hacer la distinción y... si vemos el proceso a nivel celular cogiendo una celulita de la hoja pues tendríamos que el cloroplasto cuando está en presencia de luz solar, comienza a moverse en forma circular a eso se le conoce como ciclosis, se excita y si lo vemos más profundo que no lo supe graficar entonces estaría el proceso... el cloroplasto, ¿es que no recuerdo! ¿Si son citocromos?, son unas estructuras especiales que tienen la planta donde se da ese proceso de captación y transformación de la energía lumínica en energía química”.
2	D R	
3	I P	¿Desea agregar algo más?
4	D R	No, es todo.
5	I R	Muchas gracias por colaborar con esta investigación.

ANEXO II: CONTRASTE DEL MME DEL PROFESOR CON EL MCE REFERENCIADO POR EL GRUPO INVESTIGADOR,
EN TÉRMINO DE SUS ENTIDADES, PROPIEDADES, RELACIONES Y REGLAS DE INFERENCIA.

IIA Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.
Caso Mariluz

CASO MARILUZ				
	ENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	REGLAS DE INFERENCIA
MODELO MENTAL EXPLICATIVO	Luz solar-Calor solar	Capacidad para producir clorofila	La energía luminosa y calorífica del sol interaccionan con las plantas, transformándose en clorofila y pigmentando las plantas de color verde.	-Si las plantas se exponen a la luz y al calor solar, <i>entonces</i> hay producción de clorofila. -Si las plantas producen clorofila, <i>entonces</i> las hojas se pigmentan de verde.
	Clorofila	Capacidad para pigmentar de verde las plantas.		
	Hojas	Contienen Clorofila		
MODELO CIENTÍFICO ERUDITO	Luz solar	Energía radiante que puede ser transformada en energía potencial de los enlaces químicos de sustancias orgánicas producidas por plantas verdes.	Los fotones inciden sobre los electrones de clorofila provocando su “excitación”. Estos electrones fotoexcitados, al salir de la clorofila son captados y transportados a lo largo de una cadena de sustancias, produciéndose la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica.	Si la luz es absorbida por los pigmentos de organismos vegetales superiores, <i>entonces</i> estos organismos pueden captar energía para distintos procesos celulares (impulsar la formación de ATP y NADPH, compuestos utilizados con posterioridad para el ensamblaje de azúcares y otros compuestos orgánicos).
	Clorofila	Pigmento fotosensible con capacidad de “desestabilizarse” por el impacto de fotones en el átomo de Mg ⁺ de su molécula. Pigmento que presenta capacidad de absorber selectivamente la energía lumínica de los fotones,	Cuando una molécula de clorofila se excita por la absorción de un fotón, transmite su excitación a una molécula vecina y vuelve a su estado basal. La clorofila absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja del espectro. La luz verde se refleja, razón por la cual las plantas son verdes.	Si una planta superior es expuesta a una longitud de onda verde y otra a luz azul, <i>entonces</i> el volumen de O ₂ gaseoso producido será mayor en la planta expuesta a la longitud de onda que corresponda al color azul, por ser una onda de mayor contenido energético, debido a su longitud.

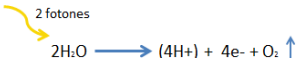
		dependiendo de la longitud de onda del espectro.		
	Hojas	Órgano con capacidad para realizar fotosíntesis y posibilitar el intercambio de gases [CO_2 , O_2 y vapor de agua (H_2O)].	El azúcar producido mediante fotosíntesis por las células “estomáticas”, aumenta la concentración de solutos en la célula. Entonces, el agua (que está en mayor concentración en las células epidérmicas que las rodean) entra por difusión a las células estomáticas provocando que éstas se hinchen desigualmente debido al diferente grosor de su pared celular y en consecuencia se curvan. Como resultado, el ostiolo (poro) se abre, de tal manera que la hoja puede realizar el intercambio de gases (O_2 y CO_2) y liberar el exceso de agua en forma de vapor.	<i>Si</i> en las células de las hojas aumenta la concentración de solutos, <i>entonces</i> estas se hinchan y el ostiolo del poro de la hoja se abre para realizar el intercambio de gases CO_2 y O_2 .

IIB Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.
Caso Gregorio

CASO GREGORIO				
	ENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	REGLAS DE INFERENCIA
MODELO MENTAL EXPLICATIVO	Raíz	Absorben agua y sales minerales.	<p>El agua y las sales minerales son absorbidas por la raíz y ascienden por el xilema convirtiéndose en savia bruta.</p> <p>Con la ayuda de los rayos solares, la savia bruta se convierte en savia elaborada que se distribuye por toda la planta, fabricando su alimento como los azúcares o el fruto, por ello son autótrofas.</p> <p>La savia elaborada proporciona a los seres vivos alimento y oxígeno para la respiración. Capta el gas carbónico.</p> <p>Las plantas como hacen fotosíntesis son organismos autótrofos y productores, los que no lo hacen son consumidores.</p> <p>El oxígeno se bota de la planta en el proceso de la fotosíntesis para que respiren otros seres vivos y es tomado a su vez en el proceso de la respiración por los estomas de las plantas, botando el gas carbónico.</p>	<p><i>Si el agua y las sales minerales son absorbidas por la raíz de la planta y ascienden por el Xilema, entonces se convierten en savia bruta.</i></p> <p><i>Si la savia bruta asciende y recibe la luz solar entonces la planta savia bruta se convierte en savia elaborada.</i></p> <p><i>Si la planta produce savia elaborada entonces la planta captará gas carbónico, fabricará alimento para ella y para los demás seres vivos, además producirá oxígeno que es botado para la respiración de los seres vivos.</i></p> <p><i>Si las plantas fabrican su alimento para ella y los demás seres</i></p>
	Xilema	Es por donde asciende el agua y sales minerales.		
	Agua	Necesaria para la fotosíntesis Absorbida por la raíz de la planta Ascienden por el xilema Se convierte en savia bruta, luego se convierte en savia elaborada con la ayuda de los rayos solares.		
	Sales minerales	Necesaria para la fotosíntesis Absorbida por la raíz de la planta Ascienden por el xilema Se convierte en savia bruta, luego se convierte en savia elaborada con la ayuda de los rayos solares		
	Savia bruta	Para su conversión necesita de agua y sales minerales. Se convierte en savia elaborada.		
	Savia elaborada	Ayuda a la fabricación del alimento de la planta, tales como los azúcares, frutos. Otorga la propiedad a las plantas de ser autótrofas y productoras Se distribuye por toda la planta. Ayuda en el proceso de captar gas carbónico. Produce oxígeno a los seres vivos para la respiración. Nos proporciona alimento a los demás seres vivos.		
	Rayos solares (sol)	Ayuda a la conversión de la savia elaborada.		
	Gas carbónico	Es captado por la savia elaborada Se bota en la respiración de las plantas.		

	Oxígeno	Producido por la savia elaborada. Es necesario para la respiración de los seres vivos Se bota en la fotosíntesis. Es respirado por las plantas Es tomado por los estomas		vivos <i>entonces</i> son autótrofos y productores.
	Estomas	Toman el oxígeno		
MODELO CIENTÍFICO ERUDITO	Raíz	Capacidad de fijar la planta al suelo con cierta flexibilidad.	El agua al contacto con los minerales del suelo [fósforo inorgánico (Pi), azufre (S) y nitrógeno (N)] los disuelve, formando la savia bruta. Los pelos absorbentes de la raíz al contacto con la savia bruta la absorben, haciéndola llegar al xilema del sistema aéreo (tallo y hojas).	<i>Si</i> en el suelo hay agua, sales y minerales, <i>entonces</i> estos son absorbidos por la raíz y ascienden como savia bruta.
	Xilema	La disposición de sus tejidos vasculares (Xilema: central en forma de “X”. Floema: entre los brazos de la “X”), proporciona resistencia, a la raíz.	Las sustancias absorbidas por la raíz pasan al xilema donde se conduce el agua y minerales hacia las hojas. El agua transportada a través del xilema, es la que intervienen en el proceso de fotosíntesis que se da en la hoja.	<i>Si</i> una planta superior absorbe agua y minerales a través de la raíz, <i>entonces</i> esta agua y minerales son conducidos al interior de la planta por un conjunto de tubos, llamados xilema.
	Agua Sales minerales Savia bruta	Disolvente universal, capaz de romperse en sus componentes por impacto de un fotón y ceder sus protones (H ⁺) para reducir el NADP.	En la fase lumínica hay un flujo constante de electrones desde el agua al fotosistema II, de este al fotosistema I y a través del fotosistema I al NADP ⁺ . Con la utilización de la energía liberada en el transporte de electrones: La enzima ATP-sintetasa de la membrana tilacoidal, cataliza la unión de la molécula de ADP con un grupo fosfato, produciendo la síntesis de ATP. Es decir: $\text{ADP} + \text{Pi} \xrightarrow{\text{ATP-Sintetasa}} \text{ATP}$ En las reacciones luminosas se utiliza la energía solar para producir ATP y reducir la molécula de NADP aceptoras de hidrógeno. Parte de la	<i>Si</i> la molécula de clorofila a del fotosistema II se reactiva, lanza sus electrones a un nivel de energía más alto, <i>entonces</i> estos electrones son remplazados por electrones extraídos de la molécula de agua que liberan protones H ⁺ y gas oxígeno.

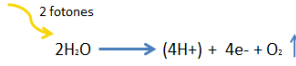
			energía almacenada es capturada temporalmente almacenada en ambos compuestos. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación: <div style="text-align: center;"> <small>LUZ SOLAR CLOROFILA</small> $12\text{H}_2\text{O} + 12\text{NADP}^+ + 18\text{ADP} + 18\text{P}_i \xrightarrow{\quad} 6\text{O}_2 + 12\text{NADPH} + \text{H}^+ + 18\text{ATP}$ </div>	
	Glucosa	Producto de la fotosíntesis que se forma a partir de la reacciones de fijación del CO ₂ atmosférico. Constituye el alimento fundamental para la planta.	<p>En el estroma, se absorbe CO₂ y se reduce a carbohidrato o glucosa, esto es posible gracias al ciclo de Calvin-</p> <p>El ciclo de Calvin produce gliceraldehido fostato, a partir del cual pueden formarse la glucosa.</p> <p>El ATP y el NADPH formados durante las reacciones de la fase luminosa llevan a cabo esta reducción.</p>	<p><i>Si en las reacciones luminosas se forman ATP y NADPH entonces es posible la reducción del CO₂ a un azúcar simple llamado glucosa.</i></p> <p><i>Si la energía química almacenada en las moléculas de ATP y de NADPH se transfiere a las moléculas que transportan y almacenan energía en las células de las plantas, entonces se forma un esqueleto de carbono a partir del cual se produce glucosa.</i></p>
	Luz solar	Energía radiante que puede ser transformada en energía potencial de los enlaces químicos de sustancias orgánicas producidas por plantas verdes.	<p>Los fotones inciden sobre los electrones de clorofila provocando su “excitación”. Estos electrones fotoexcitados, al salir de la clorofila son captados y transportados a lo largo de una cadena de sustancias, produciéndose la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica.</p> <p>Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) y la enzima ATP-sintetasa posibilitan la unión del ADP con el fosfato inorgánico (Pi), produciéndose ATP, suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía</p>	<p><i>Si la luz es absorbida por los pigmentos de organismos vegetales superiores, entonces estos organismos pueden captar energía para distintos procesos celulares (impulsar la formación de ATP y NADPH, compuestos utilizados con posterioridad para el ensamblaje de</i></p>

			<p>química (la cual queda concentrada en los enlaces del ATP).</p> <p>Los fotones capturados por la clorofila y otros pigmentos proporcionan energía para dividir dos moléculas del agua para liberar una molécula de O₂ gaseoso, cuatro protones (o cuatro núcleos de hidrógeno, sin su electrón representado como H⁺ y cuatro electrones (e⁻) proveniente de los hidrógenos del agua.</p> <p>Esto es:</p>  <p>Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) posibilita la unión de cada molécula de NADP con dos protones de hidrógeno provenientes del agua (H⁺) -que son de un nivel energético más alto- produciéndose NADPH₂, y suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía química (la cual queda concentrada en los enlaces de NADPH₂).</p>	azúcares y otros compuestos orgánicos).
	Dióxido de carbono	<p>Es captado por lo estomas.</p> <p>Se produce en carbohidrato por medio de un conjunto de reacciones propias del ciclo de Calvin.</p>	<p>El CO₂ Llega a las células fotosintéticas de las plantas a través de aberturas especializadas de las hojas y tallos verdes llamados estomas.</p> <p>En el ciclo de Calvin el CO₂ entra al cloroplasto atravesando las membranas celulares del organelo, por medio de canales hasta llegar al estroma, el ciclo inicia cuando la ribulosa 1,5 bi – fosfato carboxilasa oxigenasa, realiza la carboxilación del CO₂ y origina dos moléculas de tres carbonos.</p>	<p>Si a través de las estomas entra mayor concentración de CO₂ entonces habrá mayor producción de glucosa.</p> <p>Si aumenta la población de plantas verdes en el planeta entonces disminuye la concentración de CO₂ y disminuye el calentamiento global.</p>
	Oxígeno	Es liberado mediante la fase luminosa de la fotosíntesis.	La luz que incide sobre el fotosistema II lanza electrones cuesta arriba. Estos electrones son remplazados por electrones de moléculas de agua que, al escindirse liberan oxígeno O ₂ . Muchos	Si el oxígeno entra a las células y participa en la respiración celular entonces se da

			organismos, entre ellos plantas y seres humanos, usan este oxígeno en sus mitocondrias. Los iones hidrógeno (H^+) permanecen en el espacio tilacoide y contribuyen a la formación de un gradiente de ion de hidrógeno.	el proceso de oxidación de compuestos orgánicos que son fuentes de energía celular.
--	--	--	--	---

IIC Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.
Caso Jorge

CASO JORGE				
	ENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	REGLAS DE INFERENCIA
MODELO MENTAL EXPLICATIVO	Sol	Permite en el árbol sintetizar. Emite luz Es importante para la planta	<p>Por el estoma entra gas carbónico y vapor de agua, a su vez el agua también puede entrar por la raíz en forma líquida y por este lugar donde entran estas sustancias también hay salida de oxígeno y producción de glucosa, la cual queda y se reparte por toda la planta.</p> <p>El cloroplasto que está en la hoja es el encargado de tomar lo que ingresa por los estomas, produciendo oxígeno.</p> <p>El oxígeno producido en la fotosíntesis es utilizado por los seres humanos para la respiración y el gas carbónico expulsado en la respiración es utilizado en la fotosíntesis.</p>	<p>Si por los estomas entra gas carbónico y vapor de agua, entonces se produce oxígeno.</p> <p>Si hay producción de glucosa, entonces hay salida de oxígeno para la respiración humana.</p> <p>Si no hay fotosíntesis, entonces no es posible el proceso de respiración en los seres vivos.</p>
	Hoja	Órgano fundamental donde se da la fotosíntesis. Sitio donde se encuentran los estomas y los cloroplastos		
	Estoma	Es una célula que se encuentra en las hojas. Permite la entrada de sustancias como gas carbónico y agua en forma de vapor. Permite la salida del oxígeno. Produce glucosa.		
	Gas carbónico	Entra por el estoma Gas desperdiciado y expulsado por los humanos en la respiración		
	Agua	Entra por el estoma.(en forma de vapor) También Ingresa por la raíz (en forma líquida) Es producido en la respiración de nosotros. Sale o se expulsa en la respiración		
	Raíz	Se encuentra en la parte de debajo de las plantas. Permite la entrada de agua líquida.		
	Cloroplastos	Organelo celular que se está en la hoja. Toma lo que ingresa por los estomas (agua en forma de vapor y gas carbónico) Producen sustancias que salen como el oxígeno		
	Glucosa	Se produce en el estoma. Permanece en la planta para hacer utilizada por esta. Se reparte por toda la planta.		
	Oxígeno	Sustancia que sale de la planta por los estomas. Se produce en los cloroplastos Gas productor de vida Proviene de un árbol		

		Gas tomado por los humanos para la respiración		
MODELO CIENTÍFICO ERUDITO	Sol	Energía radiante que puede ser transformada en energía potencial de los enlaces químicos de sustancias orgánicas producidas por plantas verdes.	<p>Los fotones inciden sobre los electrones de clorofila provocando su “excitación”. Estos electrones fotoexcitados, al salir de la clorofila son captados y transportados a lo largo de una cadena de sustancias, produciéndose la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica.</p> <p>Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) y la enzima ATP-sintetasa posibilitan la unión del ADP con el fosfato inorgánico (Pi), produciéndose ATP, suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía química (la cual queda concentrada en los enlaces del ATP). Los fotones capturados por la clorofila y otros pigmentos proporcionan energía para dividir dos moléculas del agua para liberar una molécula de O₂ gaseoso, cuatro protones (o cuatro núcleos de hidrógeno, sin su electrón representado como H⁺ y cuatro electrones (e⁻) proveniente de los hidrógenos del agua.</p> <p>Esto es:</p>  <p>Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) posibilita la unión de cada molécula de NADP con dos protones de hidrógeno provenientes del agua (H⁺) -que son de un nivel energético más alto- produciéndose NADPH₂, y suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía química (la cual queda concentrada en los enlaces de NADPH₂).</p>	<p><i>Si la luz es absorbida por los pigmentos de organismos vegetales superiores, entonces estos organismos pueden captar energía para distintos procesos celulares (impulsar la formación de ATP y NADPH, compuestos utilizados con posterioridad para el ensamblaje de azúcares y otros compuestos orgánicos).</i></p>
	Hoja	Órgano con capacidad para realizar fotosíntesis y posibilitar el intercambio de gases [CO ₂ , O ₂ y vapor de agua (H ₂ O)].	El azúcar producido mediante fotosíntesis por las células “estomáticas”, aumenta la concentración de solutos en la célula.	<i>Si en las células de las hojas aumenta la concentración de</i>

	Sistema estomático	Células con capacidad para regular la hendidura del ostiolo. Capacidad para provocar el intercambio de gases.	Entonces, el agua (que está en mayor concentración en las células epidérmicas que las rodean) entra por difusión a las células estomáticas provocando que éstas se hinchen desigualmente debido al diferente grosor de su pared celular y en consecuencia se curvan. Como resultado, el ostiolo (poro) se abre, de tal manera que la hoja puede realizar el intercambio de gases (O_2 y CO_2) y liberar el exceso de agua en forma de vapor.	solutos, <i>entonces</i> estas se hinchan y el ostiolo del poro de la hoja se abre para realizar el intercambio de gases CO_2 y O_2 . Si los estomas de las hojas permiten la entrada de CO_2 entonces este reaccionan en presencia de luz solar para que se produzcan nutrientes.
	Dióxido de carbono	Es captado por lo estomas.	El CO_2 Llega a las células fotosintéticas de las plantas a través de aberturas especializadas de las hojas y tallos verdes llamados estomas. En el ciclo de Calvin el CO_2 entra al cloroplasto atravesando las membranas celulares del organelo por medio de canales hasta llegar al estroma, el ciclo inicia cuando la ribulosa 1,5 bi – fosfato carboxilasa oxigenasa, realiza la carboxilacion del CO_2 y origina dos moléculas de tres carbonos.	Si, a través de las estomas entra mayor concentración de CO_2 entonces habrá mayor producción de glucosa. Si aumenta la población de plantas verdes en el planeta entonces disminuye la concentración de CO_2 y disminuye el calentamiento global.
	Agua	Disolvente universal, capaz de romperse en sus componentes por impacto de un fotón y ceder sus protones (H^+) para reducir el NADP.	En la fase lumínica hay un flujo constante de electrones desde el agua al fotosistema II, de este al fotosistema I y a través del fotosistema I al NADP $^+$. Con la utilización de la energía liberada en el transporte de electrones: La enzima ATP-sintetasa de la membrana tilacoidal, cataliza la unión de la molécula	<i>Si</i> la molécula de clorofila a del fotosistema II se reactiva, lanza sus electrones a un nivel de energía más alto, <i>entonces</i> estos electrones son remplazados por

			<p>de ADP con un grupo fosfato, produciendo la síntesis de ATP. Es decir:</p> <p style="text-align: center;">ATP-Sintetasa</p> <p>ADP + Pi $\xrightarrow{\text{ATP-Sintetasa}}$ ATP</p> <p>En las reacciones luminosas se utiliza la energía solar para producir ATP y reducir la molécula de NADP aceptoras de hidrógeno. Parte de la energía almacenada es capturada temporalmente almacenada en ambos compuestos. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación:</p> <p style="text-align: center;">LUZ SOLAR CLOROFILA</p> <p>$12\text{H}_2\text{O} + 12\text{NADP} + 18\text{ADP} + 18\text{P}_i \xrightarrow{\text{LUZ SOLAR CLOROFILA}} 6\text{O}_2 + 12\text{NADPH} + \text{H}^+ + 18\text{ATP}$</p>	<p>electrones extraídos de la molécula de agua que liberan protones H^+ y gas oxígeno.</p>
	Raíz	Capacidad de fijar la planta al suelo con cierta flexibilidad.	<p>El agua al contacto con los minerales del suelo [fósforo inorgánico (Pi), azufre (S) y nitrógeno (N)] los disuelve, formando la savia bruta.</p> <p>Los pelos absorbentes de la raíz al contacto con la savia bruta la absorben, haciéndola llegar al xilema del sistema aéreo (tallo y hojas).</p>	<p><i>Si</i> en el suelo hay agua, sales y minerales, <i>entonces</i> estos son absorbidos por la raíz y ascienden como savia bruta.</p>
	Cloroplastos	<p>Organelos capaces de captar la energía luminosa del sol para efectuar la fotosíntesis. Capacitados para crecer y dividirse en cloroplastos “hijos”.</p> <p>Organelos con la propiedad de producir azúcares y O_2 que se desprende a la atmósfera.</p> <p>Organelos capaces de sintetizar ciertas proteínas necesarias para su propio funcionamiento.</p>	<p>El agua (Es absorbido por la raíz y transportado por el tejido vascular hacia el tallo y las hojas) y el dióxido de carbono (Ingresa a la hoja por medio de los estomas) se difunden en los cloroplastos, y con ayuda de la luz solar y la clorofila, que es activada por esta, transforman la energía lumínica, en eléctrica y luego en química.</p> <p>La absorción de la luz solar, tiene lugar en las membranas del tilacoide y la reducción de dióxido de carbono a un carbohidrato en los estromas, todo esto ocurre en los cloroplastos.</p>	<p><i>Si</i> en una planta verde la molécula de clorofila se encuentra empaquetada (en las membranas tilacoidales) y no aislada, <i>entonces</i> existe transferencia de energía, causando por consiguiente la activación de la clorofila.</p>
	Glucosa	<p>Es un azúcar de bajo peso molecular, compuesto por carbono, oxígeno e hidrogeno.</p> <p>Producto de la fotosíntesis que se forma a partir de la reacciones de fijación del CO_2 atmosférico.</p> <p>Constituye el alimento fundamental para la planta.</p>	<p>En el estroma, se absorbe CO_2 y se reduce a carbohidrato o glucosa, esto es posible gracias al ciclo de Calvin</p>	<p><i>Si</i> en las reacciones luminosas del proceso fotosintético se forman ATP y NADPH <i>entonces</i> es</p>

			<p>El ciclo de Calvin produce gliceraldehido fosfato, a partir del cual pueden formarse la glucosa.</p> <p>El ATP y el NADPH formados durante las reacciones de la fase luminosa llevan a cabo esta reducción.</p>	<p>posible la reducción del CO_2 a un azúcar simple llamado glucosa.</p> <p><i>Si</i> la energía química almacenada en las moléculas de ATP y de NADPH se transfiere a las moléculas que transportan y almacenan energía en las células de las plantas, <i>entonces</i> se forma un esqueleto de carbono a partir del cual se produce glucosa.</p> <p>Si se reduce la cantidad de CO_2 entonces la cantidad de glucosa producida por la planta disminuye.</p>
	Oxígeno	Es liberado mediante la fase luminosa de la fotosíntesis.	<p>La luz que incide sobre el fotosistema II lanza electrones cuesta arriba. Estos electrones son remplazados por electrones de moléculas de agua que, al escindirse liberan oxígeno O_2. Muchos organismos, entre ellos plantas y seres humanos, usan este oxígeno en sus mitocondrias. Los iones hidrógeno (H^+) permanecen en el espacio tilacoide y contribuyen a la formación de un gradiente de ion de hidrógeno.</p>	<p><i>Si</i> el oxígeno entra a las células y participa en la respiración celular <i>entonces</i> se da el proceso de oxidación de compuestos orgánicos que son fuentes de energía celular.</p>

IID Contraste del MME del profesor con el MCE, en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.
Caso Esther

CASO ESTHER				
	ENTIDADES	PROPIEDADES	RELACIONES	REGLAS DE INFERENCIA
MODELO MENTAL EXPLICATIVO	Dióxido de carbono	Es un reactivo en la ecuación química de la fotosíntesis. Ingresa a través de los estomas	<p>Para el proceso fotosintético se utilizan 6 moles de dióxido de carbono con 6 moles de agua en presencia de luz solar y clorofila, que actuarían como catalizadores para producir un mol de glucosa y 6 moles de oxígeno. Las zonas verdes de la planta poseen estomas, los cuales permiten el ingreso de dióxido de carbono y salida de oxígeno en presencia de luz solar. Las plantas poseen vasos conductores para transportar la savia bruta que son los minerales y el agua que ascienden por el tallo hasta llegar a las hojas, y es en esta donde se da el proceso de la fotosíntesis.</p> <p>La luz actúa como catalizador y ayuda a excitar los cloroplastos, ellos durante ese proceso se mueven en forma circular.</p> <p>El cloroplasto posee unas estructuras especiales llamadas citocromos, en estos se da el proceso de captación y transformación de la energía lumínica en energía química.</p> <p>La planta distribuye la savia elaborada o glucosa hacia el resto de la misma, para alimentarse.</p>	<p><i>Si existe luz solar entonces es posible el proceso fotosintético.</i></p> <p><i>Si ingresan a la hoja dióxido de carbono y agua en presencia de luz y clorofila, entonces se producirá glucosa y oxígeno.</i></p> <p><i>Si la luz solar actúa como catalizador entonces los cloroplastos se moverán en forma circular y se producirá glucosa y oxígeno.</i></p> <p><i>Si no es posible el proceso fotosintético, entonces las plantas no podrán alimentarse.</i></p>
	Agua	Es un reactivo en la ecuación química de la fotosíntesis. Capacidad para convertirse en savia bruta. Es absorbida por la raíz de la planta		
	Luz solar-Energía lumínica	Actúa como catalizador en el proceso fotosintético. Excita a los cloroplastos. Permite el movimiento de los cloroplastos. Se transforma en energía química.		
	Clorofila	Actúa como catalizador en el proceso fotosintético.		
	Sales minerales	Asciende por el tallo hasta llegar a las hojas. Capacidad para convertirse en savia bruta.		
	Raíz	Absorbe agua y sales minerales		
	Vasos conductores (TUBOS)	Transporta savia bruta y savia elaborada hacia el resto de la planta.		
	Tallo	Conducen la savia bruta (sales minerales y agua)		
	Hoja	Se da la toma de dióxido de carbono. Son verdes. Recibe a los minerales y el agua. (savia bruta) Se da el proceso de la fotosíntesis. Elimina oxígeno.		
	Savia bruta	Asciende por el tallo		
	Estomas	Capacidad para tomar dióxido de carbono, y libera oxígeno.		
	Cloroplastos	Se excitan y tienen movimiento circular (ciclosis) en presencia de luz solar		

		Se encuentra en las zonas verdes Capacidad para captar y transformar la lumínica en energía química.		
	Glucosa-Savia elaborada	Es un producto de la fotosíntesis Se produce durante la fotosíntesis. Se distribuye por toda la planta.		
	Oxígeno	Se elimina por los estomas.		
MODELO CIENTÍFICO ERUDITO	Dióxido de carbono	Es captado por lo estomas.	<p>El CO₂ Llega a las células fotosintéticas de las plantas a través de aberturas especializadas de las hojas y tallos verdes llamados estomas.</p> <p>En el ciclo de Calvin el CO₂ entra al cloroplasto atravesando las membranas celulares del organelo por medio de canales hasta llegar al estroma, el ciclo inicia cuando la ribulosa 1,5 bi – fosfato carboxilasa oxigenasa, realiza la carboxilacion del CO₂ y origina dos moléculas de tres carbonos.</p>	<p>Si, a través de las estomas entra mayor concentración de CO₂ entonces habrá mayor producción de glucosa.</p> <p>Si aumenta la población de plantas verdes en el planeta entonces disminuye la concentración de CO₂ y disminuye el calentamiento global.</p>
	Agua	Disolvente universal, capaz de romperse en sus componentes por impacto de un fotón y ceder sus protones (H ⁺) para reducir el NADP.	<p>En la fase lumínica hay un flujo constante de electrones desde el agua al fotosistema II, de este al fotosistema I y a través del fotosistema I al NADP⁺.</p> <p>Con la utilización de la energía liberada en el transporte de electrones:</p> <p>La enzima ATP-sintetasa de la membrana tilacoidal, cataliza la unión de la molécula de ADP con un grupo fosfato, produciendo la síntesis de ATP. Es decir:</p> <p style="text-align: center;">ATP-Sintetasa</p> <p>ADP + Pi → ATP</p> <p>En las reacciones luminosas se utiliza la energía solar para producir ATP y reducir la molécula de NADP aceptoras de hidrógeno. Parte de la energía almacenada es capturada temporalmente almacenada en ambos compuestos. Lo anterior se resume en la siguiente ecuación:</p>	<p>Si la molécula de clorofila a del fotosistema II se reactiva, lanza sus electrones a un nivel de energía más alto, <i>entonces</i> estos electrones son remplazados por electrones extraídos de la molécula de agua que liberan protones H⁺ y gas oxígeno.</p>

			$12\text{H}_2\text{O} + 12\text{NADP} + 18\text{ADP} + 18\text{P}_i \xrightarrow[\text{CLOROFILA}]{\text{LUZ SOLAR}} 6\text{O}_2 + 12\text{NADPH} + \text{H}^+ + 18\text{ATP}$	
	Luz solar- Energía lumínica	Energía radiante que puede ser transformada en energía potencial de los enlaces químicos de sustancias orgánicas producidas por plantas verdes.	<p>Los fotones inciden sobre los electrones de clorofila provocando su “excitación”. Estos electrones fotoexcitados, al salir de la clorofila son captados y transportados a lo largo de una cadena de sustancias, produciéndose la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica.</p> <p>Parte de la energía eléctrica (producida por la energía de activación de los electrones de la clorofila) y la enzima ATP-sintetasa posibilitan la unión del ADP con el fosfato inorgánico (Pi), produciéndose ATP, suscitando con ello la transformación de energía eléctrica en energía química (la cual queda concentrada en los enlaces del ATP).</p>	Si la luz es absorbida por los pigmentos de organismos vegetales superiores, <i>entonces</i> estos organismos pueden captar energía para distintos procesos celulares (impulsar la formación de ATP y NADPH, compuestos utilizados con posterioridad para el ensamblaje de azúcares y otros compuestos orgánicos).
	Clorofila Sales minerales	<p>Pigmento fotosensible con capacidad de “desestabilizarse” por el impacto de fotones en el átomo de Mg⁺ de su molécula.</p> <p>Pigmento que presenta capacidad de absorber selectivamente la energía lumínica de los fotones, dependiendo de la longitud de onda del espectro.</p> <p>Capacidad para transferir átomos de hidrógeno al entrar en funcionamiento su anillo de cinco carbonos.</p>	<p>En las plantas verdes, las moléculas de clorofila se encuentran empaquetadas formando unidades funcionales llamadas fotosistemas en lo que la transferencia de energía tiene lugar fácilmente. Los fotosistemas, están embebidos en las membranas de los tilacoides.</p> <p>Cuando una molécula de clorofila se excita por la absorción de un fotón, transmite su excitación a una molécula vecina y vuelve a su estado basal. La clorofila absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja del espectro. La luz verde se refleja, razón por la cual las plantas son verdes.</p>	Si una planta superior es expuesta a una longitud de onda verde y otra a luz azul, <i>entonces</i> el volumen de O ₂ gaseoso producido será mayor en la planta expuesta a la longitud de onda que corresponda al color azul, por ser una onda de mayor contenido energético, debido a su longitud.

	Raíz	Capacidad de fijar la planta al suelo con cierta flexibilidad.	El agua al contacto con los minerales del suelo [fósforo inorgánico (Pi), azufre (S) y nitrógeno (N)] los disuelve, formando la savia bruta. Los pelos absorbentes de la raíz al contacto con la savia bruta la absorben, haciéndola llegar al xilema del sistema aéreo (tallo y hojas).	Si en el suelo hay agua, sales y minerales, <i>entonces</i> estos son absorbidos por la raíz y ascienden como savia bruta.
	Xilema	La disposición de sus tejidos vasculares (Xilema: central en forma de “X”. Floema: entre los brazos de la “X”), proporciona resistencia, a la raíz. Forma un sistema de tubos de transportación que hace ascender la savia bruta desde la raíz hasta el sistema aéreo.	Las sustancias absorbidas por la raíz pasan al xilema donde se conduce el agua y minerales hacia las hojas. El agua transportada a través del xilema, es la que intervienen en el proceso de fotosíntesis que se da en la hoja.	Si una planta superior absorbe agua y minerales a través de la raíz, <i>entonces</i> esta agua y minerales son conducidos al interior de la planta por un conjunto de tubos llamados xilema.
	Floema	Forma un sistema de tubos de transportación que hace descender los productos de la fotosíntesis (desde la hoja a todo el vegetal).	Durante la fotosíntesis: Los productos orgánicos elaborados por los cloroplastos del tejido fotosintético de la hoja, al contacto con el agua, se disuelven, formando la savia elaborada o savia celular.	Si se produce glucosa durante la fotosíntesis, <i>entonces</i> esta es conducida por el floema como savia elaborada hacia toda la planta.
	Hoja	Órgano con capacidad para realizar fotosíntesis y posibilitar el intercambio de gases [CO ₂ , O ₂ y vapor de agua (H ₂ O)].	El azúcar producido mediante fotosíntesis por las células “estomáticas”, aumenta la concentración de solutos en la célula. Entonces, el agua (que está en mayor concentración en las células epidérmicas que las rodean) entra por difusión a las células estomáticas provocando que éstas se hinchen desigualmente debido al diferente grosor de su pared celular y en consecuencia se curvan. Como resultado, el ostiolo (poro) se abre, de tal manera que la hoja puede realizar el intercambio de gases (O ₂ y CO ₂) y liberar el exceso de agua en forma de vapor.	Si en las células de las hojas aumenta la concentración de solutos, <i>entonces</i> estas se hinchan y el ostiolo del poro de la hoja se abre para realizar el intercambio de gases CO ₂ y O ₂ . Si las estomas de las hojas permiten la entrada de CO ₂

				entonces este reacciona en presencia de luz solar para que se produzcan nutrientes.
	Sistema estomático	Células con capacidad para regular la hendidura del ostiolo. Capacidad para provocar el intercambio de gases.	El azúcar producido mediante fotosíntesis por las células “estomáticas”, aumenta la concentración de solutos en la célula. Entonces, el agua (que está en mayor concentración en las células epidérmicas que las rodean) entra por difusión a las células estomáticas provocando que éstas se hinchen desigualmente debido al diferente grosor de su pared celular y en consecuencia se curvan. Como resultado, el ostiolo (poro) se abre, de tal manera que la hoja puede realizar el intercambio de gases (O_2 y CO_2) y liberar el exceso de agua en forma de vapor.	<p>Si en las células de las hojas aumenta la concentración de solutos, entonces estas se hinchan y el ostiolo del poro de la hoja se abre para realizar el intercambio de gases CO_2 y O_2.</p> <p>Si los estomas de las hojas permiten la entrada de CO_2 entonces este reaccionan en presencia de luz solar para que se produzcan nutrientes.</p>
	Cloroplastos	<p>Organelos capaces de captar la energía luminosa del sol para efectuar la fotosíntesis. Capacitados para crecer y dividirse en cloroplastos “hijos”.</p> <p>Organelos con la propiedad de producir azúcares y O_2 que se desprende a la atmósfera.</p> <p>Organelos capaces de sintetizar ciertas proteínas necesarias para su propio funcionamiento.</p>	<p>El agua (Es absorbido por la raíz y transportado por el tejido vascular hacia el tallo y las hojas) y el dióxido de carbono (Ingresa a la hoja por medio de los estomas) se difunden en los cloroplastos, y con ayuda de la luz solar y la clorofila, que es activada por esta, transforman la energía lumínica, en eléctrica y luego en química.</p> <p>La absorción de la luz solar, tiene lugar en las membranas del tilacoide y la reducción de dióxido de carbono a un carbohidrato en los estromas, todo esto ocurre en los cloroplastos.</p>	<p>Si en una planta verde la molécula de clorofila se encuentra empaquetada (en las membranas tilacoidales) y no aislada, entonces existe transferencia de energía, causando por consiguiente la activación de la clorofila.</p>

	Glucosa-Savia elaborada	<p>Es un azúcar de bajo peso molecular, compuesto por carbono, oxígeno e hidrogeno.</p> <p>Producto de la fotosíntesis que se forma a partir de la reacciones de fijación del CO₂ atmosférico.</p> <p>Constituye el alimento fundamental para la planta.</p>	<p>En el estroma, se absorbe CO₂ y se reduce a carbohidrato o glucosa, esto es posible gracias al ciclo de Calvin- El ciclo de Calvin produce gliceraldehido fostato, a partir del cual pueden formarse la glucosa.</p> <p>El ATP y el NADPH formados durante las reacciones de la fase luminosa llevan a cabo esta reducción.</p>	<p>Si en las reacciones luminosas del proceso fotosintético se forman ATP y NADPH <i>entonces</i> es posible la reducción del CO₂ a un azúcar simple llamado glucosa.</p> <p>Si la energía química almacenada en las moléculas de ATP y de NADPH se transfiere a las moléculas que transportan y almacenan energía en las células de las plantas, <i>entonces</i> se forma un esqueleto de carbono a partir del cual se produce glucosa.</p>
	Oxígeno	<p>Es liberado mediante la fase luminosa de la fotosíntesis.</p>	<p>La luz que incide sobre el fotosistema II lanza electrones cuesta arriba. Estos electrones son remplazados por electrones de moléculas de agua que, al escindirse liberan oxígeno O₂. Muchos organismos, entre ellos plantas y seres humanos, usan este oxígeno en sus mitocondrias. Los iones hidrógeno (H⁺) permanecen en el espacio tilacoide y contribuyen a la formación de un gradiente de ion de hidrógeno.</p>	<p>Si el oxígeno entra a las células y participa en la respiración celular <i>entonces</i> se da el proceso de oxidación de compuestos orgánicos que son fuentes de energía celular.</p>

ANEXO III: CUESTIONARIO DE CONCEPTOS SOBRE FOTOSÍNTESIS

DILIGENCIADO EN UNO DE LOS CASOS



UNIVERSIDAD DEL NORTE
MAESTRIA EN EDUCACIÓN CON ÉNFASIS EN
COGNICIÓN - CIENCIAS NATURALES

CUESTIONARIO

IDENTIFICACIÓN

Nombre del docente: _____ Edad: 63
Institución Educativa: _____ Sector: Público ☒ Privado ☐
Años de experiencia: 42 Títulos profesionales: Básico Primario
Grados en que se desempeña: 5º 4º

INSTRUCCIONES

- Lea cuidadosamente los enunciados y señale la opción de respuesta.
- Señale sólo una opción que usted considere corresponde al enunciado.

1. Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan:

- a. Energía lumínica, agua, dióxido de carbono, y sales minerales.
- b. Luz, agua, aire, oxígeno.
- c. ☒ Luz, agua y sales minerales.
- d. Suelo, agua y alimento.

2. Las plantas realizan la fotosíntesis:

- a. Sólo en el día.
- b. Por la noche solamente.
- c. ☒ De día y de noche.
- d. De día o de noche.

3. Las plantas realizan la fotosíntesis en:

- a. Las células que contiene clorofila.
- b. Todas las partes verdes.
- c. La raíz y el tallo.
- d. ☒ Los tilacoides de los cloroplastos.



4. El objetivo principal de la fotosíntesis para la planta es:
- ☒ a. Producir O_2 .
 - b. Producir H_2O .
 - c. Intercambiar $CO_2 - O_2$.
 - d. Producir $C_6H_{12}O_6$.
5. La fotosíntesis de las plantas constituye un proceso esencial en el desarrollo de la vida porque:
- a. Los organismos autótrofos que la realizan obtienen sus nutrientes del suelo.
 - b. Permite el flujo de materia y energía en los ecosistemas.
 - c. Abastece todo el oxígeno necesario en los ecosistemas.
 - ☒ d. Son productoras de alimentos para otros seres vivos.
6. De acuerdo al proceso de la fotosíntesis los organismos se clasifican en:
- a. Heterótrofos como: las plantas, cianobacterias, algas y algunas bacterias.
 - b. Heterótrofos como: las plantas, bacterias, hongos y animales.
 - c. Autótrofos como: las plantas, cianobacterias, algas y algunas bacterias.
 - ☒ d. Autótrofos como: las plantas, algunas bacterias y hongos.
7. El producto que se elimina durante el desarrollo del proceso de la fotosíntesis es el:
- a. Oxígeno.
 - b. Dióxido de carbono y oxígeno.
 - ☒ c. Dióxido de carbono.
 - d. Agua.
8. El ciclo de Calvin se activa con:
- a. La molécula de O_2 .
 - b. La molécula de CO_2 .
 - c. La molécula de H_2O .
 - d. La molécula de $C_6H_{12}O_6$.



9. Internamente, la estructura de la planta que distribuye la materia orgánica, producto de la fotosíntesis, se le conoce como:
- a. El xilema, la savia bruta.
 - b. El floema, la savia bruta.
 - ☒ c. El floema, la savia elaborada.
 - d. La raíz, al tallo, minerales.
10. La fotosíntesis resulta beneficiosa para la humanidad por
- a. Favorecer los procesos de respiración y nutrición.
 - ☒ b. Favorecer el proceso de alimentación.
 - c. Favorecer el proceso de la respiración.
 - d. Favorecer el intercambio de gases y nutrientes.

ANEXO IV: CUESTIONARIO DE CONCEPTOS SOBRE FOTOSÍNTESIS, ANALIZADO DESDE EL MODELO CIENTÍFICO ERUDITO

IVA Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Mariluz

PREGUNTAS	RESPUESTAS SELECCIONADAS POR LA PROFESOR	HALLAZGOS	SUSTENTACIÓN TEÓRICA MODELO CIENTÍFICO ERUDITO
1. ¿Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan?	b. Luz, agua, aire, oxígeno	De acuerdo a la respuesta de este ítem la profesora identifica el oxígeno como un factor que interviene en el proceso fotosintético, no identifica el oxígeno como un producto que se libera en proceso.	$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ Reacción química que muestra los elementos que reaccionan y los productos (Curtis y Barnes 2001).
2. ¿Las plantas realizan la fotosíntesis?	a. Solo en el día	En esta respuesta se evidencia que para el profesor, el proceso de la fotosíntesis, sólo se lleva a cabo en presencia de luz solar, desconociendo las reacciones independientes de la luz.	En la fotosíntesis se destacan dos etapas: Una etapa dependiente de la luz, la etapa llamada de reacciones "lumínicas", y una etapa enzimática, independiente de la luz, las reacciones "oscuras". (Viltee, Solomon & Davis, 1992)
3. ¿Las plantas realizan la fotosíntesis en?	a. Las células que contienen clorofila	En esta respuesta se reafirma el elemento clave en el modelo mental de la profesora, el cual es la clorofila y a este pigmento le asigna propiedades que se alejan del Modelo Científico establecido por el grupo de investigadores.	La clorofila, es el principal pigmento de la fotosíntesis, absorbe luz principalmente en las regiones azul, violeta y roja del espectro. La luz verde se absorbe o bien no se utiliza: la reflejan las plantas y de hecho, la mayor parte de estas son verdes debido a que sus hojas reflejan gran cantidad de la luz verde que les llega. (Viltee, Solomon y Davis, 1992)
4. ¿El objetivo principal de la fotosíntesis para la planta es?	c. Intercambiar CO_2 – O_2	En este ítem el profesor se aleja del modelo científico, al plantear como productos principales para la planta el intercambio de CO_2 y O_2 , desconociendo que la glucosa es el producto final que la planta utiliza para llevar a cabo sus procesos vitales.	En las reacciones oscuras la energía del NADPH reducido y el ATP producido durante la fase luminosa de la fotosíntesis se utiliza en producir carbohidratos, o glucosa un azúcar simple que sirve de alimento a la planta. (Viltee, Solomon y Davis, 1992)

5. ¿La fotosíntesis de las plantas constituye un proceso esencial en el desarrollo de la vida por qué?	c. Abastece todo el oxígeno necesario en los ecosistemas.	Al elegir esta respuesta el profesor sólo le atribuye importancia al oxígeno, desconociendo la importancia que tiene también para el desarrollo de la vida el flujo de materia y energía.	La fotosíntesis es la principal fuente de oxígeno en el planeta, sin embargo su importancia a nivel ecológico radica en casi toda la biomasa de la biosfera deriva de ella. (Curtis y Barnes 2001)
6. ¿De acuerdo al proceso de la fotosíntesis los organismos se clasifican en?	c. Autótrofos como: las plantas, las cianobacterias, algas y algunas bacterias.	El maestro identifica el grupo de organismos que pueden realizar fotosíntesis. Dentro del cual se hayan las plantas, como lo mostró en su representación grafica	El grupo de fotoautótrofos incluye además de las plantas, algas eucariotas, varios protistas flagelados y miembros de varios grupos de procariotas. (Berg, 2012).
7. ¿El producto que se elimina durante el desarrollo del proceso de la fotosíntesis es él?	c. Dióxido de carbono.	En esta respuesta se puede evidenciar una contradicción con el ítem 5 donde la profesora dice que la fotosíntesis abastece todo el oxígeno necesario en los ecosistemas, pero luego escoge como el producto que se elimina el dióxido de carbono demostrando con esto su modelo mental se aleja del modelo científico.	La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se producen alimentos y oxígeno, el oxígeno es el elemento que se elimina al final del proceso. (Barceló 1983).
8. ¿El ciclo de Calvin se activa con?	No hay respuesta	No presenta ninguna opción de respuesta, lo que deja establecer que la profesora no tiene conocimiento de los conceptos que se involucran en el proceso.	La respuesta correcta es con el CO ₂ el cual entra al ciclo de Calvin y se reduce a un azúcar de seis carbonos.
9. ¿Internamente, la estructura de la planta que distribuye la materia orgánica, producto de la fotosíntesis, se le conoce cómo?	c. El floema, la savia elaborada.	En la respuesta de este ítem se puede comprobar que el maestro conoce los procesos de circulación que se dan en la planta y las estructuras que participan en esta.	En plantas vasculares la circulación de la savia elaborada o glucosa se da a través de los vasos conductores del floema.
10. ¿La fotosíntesis resulta beneficiosa para la humanidad por?	d. Favorece el intercambio de gases y nutrientes	En este ítem la profesor considera que la fotosíntesis favorece el intercambio de gases y nutrientes, lo que se aleja del modelo científico erudito, debido a que este proceso favorece la respiración y la nutrición de todos los seres vivos.	La importancia de la fotosíntesis estriba; desde varios puntos de vista químico, en la transformación de la energía luminosa en energía de enlace; desde el punto de vista biológico, en que casi toda la biomasa de la biosfera deriva de ella; desde el punto de vista ecológico, en su efecto sobre los cambios climáticos; desde el punto de vista económico como fuente de alimentación y materia prima para la industria; y desde el punto de vista evolutivo, como factor determinante en la

formación de la vida tal y como la conocemos actualmente. (González, 1998).

IVB Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Gregorio

PREGUNTAS	RESPUESTAS SELECCIONADAS POR LA PROFESOR	HALLAZGOS	SUSTENTACIÓN TEÓRICA MODELO CIENTÍFICO ERUDITO
1-¿Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan?	a. Energía lumínica, agua, dióxido de carbono y sales minerales.	La respuesta del maestro corresponde a los factores que intervienen para llevar a cabo la fotosíntesis, en su respuesta se puede observar que el profesor reconoce los factores que intervienen en el proceso.	La energía lumínica es capturada por los organismos fotosintéticos quienes la usan para formar carbohidratos y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y del agua, en una serie complejas de reacciones. (Curtis y Barnes 2001)
2-¿las plantas realizan la fotosíntesis?	a. Solo en el día	En esta respuesta del profesor se establece la concepción presente en los modelos de las personas que consideran que la fotosíntesis solo se da en presencia de la luz solar, desconociendo las reacciones independientes de la luz o reacciones de fijación del carbono.	En la fotosíntesis se identifican dos etapas. Las reacciones que capturan energía donde la luz absorbida por las moléculas de clorofila, que se compactan en las membranas de los tilacoides permite que se lleven a cabo una serie de reacciones que se usan para formar ATP y NADPH y las reacciones de fijación del carbono, donde estas dos sustancias formadas en la primera etapa se utilizan para reducir el carbono a un azúcar simple. (Curtis y Barnes 2001).
3- ¿las plantas realizan la fotosíntesis en?	b. Todas las partes verdes.	En esta respuesta se evidencia que el maestro conoce características importantes para que se lleve a cabo la fotosíntesis, pero no escoge la opción basada en el modelo científico establecido, reforzando lo encontrado por el grupo investigador en los anteriores momentos, no profundiza en las estructuras que debe estar presentes para que se lleve a cabo el proceso como los tilacoides de los cloroplastos.	La unidad estructural de la fotosíntesis en los organismos eucariotas que pueden hacer fotosíntesis es el cloroplasto. En estos se encuentran las membranas tilacoides que son las que contienen los pigmentos fotosintéticos que no siempre son verdes. (Curtis y Barnes 2001).
4-¿El objetivo principal de la fotosíntesis para la planta es?	d. Producir $C_6H_{12}O_6$	En esta respuesta el profesor conoce el principal producto de la fotosíntesis indispensable para la nutrición de la planta que es la glucosa.	La glucosa o azúcar de seis carbonos producto de la fotosíntesis en la etapa de fijación del carbono es utilizada por las células vegetales para elaborar almidón y celulosa para sus propios fines y sacarosa

5-¿la fotosíntesis de las plantas constituye un proceso esencial en el desarrollo de la vida por qué?	b. Permite el flujo de la materia y energía en los ecosistemas.	En este ítem el maestro reconoce la fotosíntesis como el proceso esencial para que se lleve a cabo el proceso que permite el flujo de materia y energía en los ecosistemas, una visión global de la importancia de la fotosíntesis para la vida en el planeta Tierra.	para exportar a otras partes del cuerpo de la planta. (Curtis y Barnes 2001).
6-¿de acuerdo al proceso de la fotosíntesis los organismos se clasifican en?	c. Autótrofos como: las plantas, las cianobacterias, algas y algunas bacterias.	El maestro identifica el grupo de organismos que pueden realizar fotosíntesis.	Los organismos fotosintetizadores son los productores primarios, estos utilizan luz solar para transformar sustancias inorgánicas en sustancias orgánicas las cuales serán utilizadas por otros organismos, es así como en la naturaleza la materia y la energía se transfiere de unos organismos a otros, de manera que la materia cicla y se reutiliza y la energía fluye. (Stern y Roseman, 2004).
7- ¿el producto que se elimina durante el desarrollo del proceso de la fotosíntesis es él?	a. Oxígeno.	En este ítem el maestro concuerda con el producto que se elimina en la fotosíntesis, producto que él hace evidente en su discurso.	El grupo de fotoautótrofos incluye además de las plantas, algas eucariotas, varios protistas flagelados y miembros de varios grupos de procariotas. (Berg, 2012).
8-¿el ciclo de Calvin se activa con?	a. La molécula de oxígeno.	De acuerdo a la respuesta del profesor se puede establecer que el profesor desconoce las reacciones de fijación del carbono o ciclo de Calvin, fundamentando con esto lo dicho anteriormente que en su modelo mental hacen falta aspectos importantes en cuanto a lo que se refiere a las reacciones químicas que se dan en la fotosíntesis.	La energía que las moléculas de clorofila atrapan de la luz solar, se utiliza para hidrolizar el agua y para que al final de la reacción se libere el oxígeno, entonces el hidrógeno se combina con el dióxido de carbono para formar moléculas de carbohidratos. (Villegas, Solomon y Davis, 1992).
9-¿internamente, la estructura de la planta que distribuye la materia orgánica, producto de la	c. El floema, la savia elaborada.	En la respuesta de este ítem se puede comprobar que el maestro conoce bien los procesos de circulación que se dan en la planta y las estructuras que participan en esta.	En la etapa de fijación del carbono o reacciones oscuras se lleva a cabo el ciclo de Calvin, el cual es la vía en la que el carbono se fija por medio del gliceraldehído fosfato, aquí la enzima RuBP carboxilasa combina una molécula de dióxido de carbono con un azúcar de cinco carbonos llamada ribulosa difosfato. En cada vuelta completa del ciclo ingresa una molécula de dióxido de carbono. (Curtis y Barnes 2001).
Los azúcares que se producen de la fotosíntesis, abandonan la hoja a través de un tejido conductor conocido como <i>floema</i> , a través de este conducto las sustancias orgánicas viajan a otras partes de la planta, entre ellas los órganos no fotosintetizantes. (Curtis y Barnes 2001).			

**fotosíntesis, se le
conoce cómo?**

**10-¿la fotosíntesis
resulta beneficiosa
para la humanidad
por?**

a. Favorece
proceso
respiración.

el
de

De acuerdo a esto se evidencia la relación
que en el grafico el maestro establece, la
respiración como una función íntimamente
relacionada con la fotosíntesis.

La fotosíntesis es importante para el hombre, entre
otros aspectos, porque mediante ella se produce el
alimento y el oxígeno necesario para la respiración de
todos los seres vivos. (Barceló 1983).

IVC Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Jorge

PREGUNTAS	RESPUESTAS SELECCIONADAS POR EL PROFESOR	HALLAZGOS	SUSTENTACIÓN TEÓRICA MODELO CIENTÍFICO ERUDITO
1-Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan?	a. Energía lumínica, agua, dióxido de carbono y sales minerales.	Jorge reconoce que para llevar a cabo la fotosíntesis, es necesaria la energía lumínica, el agua, el dióxido de carbono y las sales minerales, esto lo corrobora en el instrumento de pensamiento en voz alta y en la representación gráfica.	$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ <p>Reacción química que muestra los elementos que reaccionan y los productos. (Curtis y Barnes 2001)</p>
2-¿las plantas realizan la fotosíntesis?	a. Solo en el día	La fotosíntesis se realiza en el día y la noche. En este sentido se evidencia como se aleja el profesor del modelo científico conceptual de la fotosíntesis, mostrando desconocimiento sobre la fase oscura de la fotosíntesis. Fase donde la planta produce la glucosa a través de la fijación del carbono.	Las reacciones de fijación del Carbono no requieren de luz como tal, sino solamente de los productos químicos de las reacciones lumínicas, estas reacciones pueden ocurrir tanto en la luz como en la oscuridad, en esta se lleva a cabo el ciclo de Calvin donde el NADP y el ATP formados en las reacciones que capturan energía lumínica se utiliza para reducir el dióxido de carbono. (Curtis y Barnes 2001)
3- ¿las plantas realizan la fotosíntesis en?	d. Los tilacoides de los cloroplastos.	En este ítem el profesor Jorge reconoce que las plantas realizan la fotosíntesis en los cloroplastos. Pero cabe anotar que en el protocolo de voz alta el profesor dice que este proceso se realiza en los estomas, el cuestionario favorece que el profesor recuerde con claridad cuál es la estructura.	La energía lumínica es absorbida por las moléculas de clorofila a, la cual se encuentra compactada de modo especial en las membranas tilacoides de los cloroplastos. (Curtis y Barnes 2001)
4-¿El objetivo principal de la fotosíntesis para la planta es?	d-Producir $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	En esta respuesta el profesor conoce el principal producto de la fotosíntesis indispensable para la nutrición de la planta que es la glucosa	La glucosa o azúcar de seis carbonos producto de la fotosíntesis en la etapa de fijación del carbono es utilizada por las células vegetales para elaborar almidón y celulosa para sus propios fines y sacarosa para exportar a otras partes del cuerpo de la planta. (Curtis y Barnes 2001).
5-¿la fotosíntesis de las plantas constituye un proceso esencial	b- Permite el flujo de la materia y energía en los ecosistemas.	Tal como lo relaciona en el gráfico como en el protocolo de voz alta el profesor reconoce que la	La fotosíntesis importante gracias a la producción de glucosa y oxígeno necesario para la respiración. De manera indirecta también alimenta casi en su totalidad el

en el desarrollo de la vida por qué?		fotosíntesis permite el flujo de la materia y energía en los ecosistemas.	mundo vivo, es decir la vida en el planeta Tierra depende de ella. (Campbell y Reece, 2005).
6-¿de acuerdo al proceso de la fotosíntesis los organismos se clasifican en?	c- Autótrofos como: las plantas, las cianobacterias, algas y algunas bacterias.	El maestro identifica el grupo de organismos fotosintetizadores los cuales van de organismos unicelulares como cianobacterias, algas y algunas bacterias hasta pluricelulares como las plantas vasculares y no vasculares.	El grupo de fotoautótrofos incluye además de las plantas, algas eucariotas, varios protistas flagelados y miembros de varios grupos de procariotas. (Berg, 2012).
7- ¿el producto que se elimina durante el desarrollo del proceso de la fotosíntesis es él?	a-Oxígeno.	El maestro reconoce que el oxígeno es el producto que se libera al terminar el proceso de fotosíntesis.	La evolución de los organismos fotosintéticos, que usan el dióxido de carbono como fuente de carbono y liberan oxígeno, represento una importante innovación y como consecuencia se produjo una nueva atmosfera rica en oxígeno. (Curtis y Barnes 2001).
8-¿el ciclo de Calvin se activa con?	b-La molécula de CO ₂ .	El maestro identifica el CO ₂ como el compuesto que activa el ciclo de Calvin, sin embargo en su discurso este no se hace evidente y utiliza el CO ₂ solo para hacer referencia al gas que sale de producto de la respiración humana.	El ciclo de Calvin se lleva a cabo en las reacciones que no requiere luz, aunque algunas enzimas son reguladas por esta, Se lleva a cabo en los estromas de los cloroplastos, aquí el NADP y el ATP formados en las reacciones que capturan energía lumínica se utilizan para reducir el dióxido de carbono. El ciclo produce gliceraldehído fosfato, a partir del cual puede formarse glucosa y otros compuestos orgánicos. (Curtis y Barnes 2001).
9-¿internamente, la estructura de la planta que distribuye la materia orgánica, producto de la fotosíntesis, se le conoce cómo?	c-El floema, la savia elaborada.	El profesor Identifica el floema como la estructura que distribuye la materia orgánica, producto de la fotosíntesis	Los azúcares que se producen de la fotosíntesis, abandonan la hoja a través de un tejido conductor conocido como <i>floema</i> , a través de este conducto las sustancias orgánicas viajan a otras partes de la planta, entre ella los órganos no fotosintetizantes. Curtis y Barnes 2001).
10-¿la fotosíntesis resulta beneficiosa para la humanidad por?	a-Favorece el intercambio de gases y nutrientes.	Tanto en la representación gráfica como en el instrumento en voz alta, Jorge destaca con ayuda de flechas el intercambio de gases, sin embargo al analizar esto con el modelo científico la opción que más se acerca al dar una visión más precisa sobre los beneficios que para la humanidad tiene es que favorece el proceso de respiración.	La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se produce el alimento y el oxígeno necesario para la respiración de todos los seres vivos. (Barceló 1983).

IVD Cuestionario de conceptos sobre fotosíntesis, analizado desde el Modelo Científico Erudito. Caso Esther

PREGUNTAS	RESPUESTAS SELECCIONADAS POR EL PROFESOR	ANÁLISIS	SUSTENTACIÓN CIENTÍFICO ERUDITO
1-Para llevar a cabo la fotosíntesis, las plantas necesitan?	a-Energía lumínica, agua, dióxido de carbono y sales minerales.	El profesor Esther reconoce que para llevar a cabo la fotosíntesis, es necesaria la energía lumínica, el agua, el dióxido de carbono y las sales minerales, esto lo corrobora en el instrumento de pensamiento en voz alta y en la representación gráfica. Para el profesor el agua y el dióxido de carbono se muestran como reactivos del proceso de fotosíntesis, las sales minerales se mezclan con el agua para formar savia bruta y la energía lumínica actúa como catalizador para acelerar el proceso de la fotosíntesis, permitiendo el movimiento y excitación de los cloroplastos.	La energía lumínica es capturada por los organismos fotosintéticos quienes la usan para formar carbohidratos y oxígeno libre a partir del dióxido de carbono y del agua, en una serie complejas de reacciones. (Curtis y Barnes 2001) Reacción química. $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
2-¿las plantas realizan la fotosíntesis?	a-Solo en el día	Con esto se evidencia uno de los aspectos relevantes que determinan el modelo mental de Esther, ya que de acuerdo al modelo científico el proceso no solo se realiza en presencia de luz solar, al igual que en el instrumento de pensamiento en voz alta y en la representación gráfica, la profesora solo refleja que el proceso de fotosíntesis se realiza en el día, no reconociendo la fase oscura o ciclo de Calvin.	En la primera fase de las reacciones lumínicas la clorofila absorbe la energía proveniente del sol, la cual se convierte en energía eléctrica por la excitación de los electrones de la clorofila., parte de esta energía se dedica a la obtención de ATP y NADP en una serie de reacciones complejas. Estos productos entran en la segunda fase, las reacciones de fijación del carbono para producir carbohidratos (Villegas, Solomon, Davis 1992)
3- ¿las plantas realizan la fotosíntesis en?	b-Todas las partes verdes.	Dentro de la explicación de la gráfica el profesor aclara que la fotosíntesis se realiza en todas las zonas verdes de las plantas, argumentando que es en estas zonas donde se ubican los estomas, su respuesta se aleja del modelo científico establecido ya que es en los tilacoides de los cloroplastos donde se da la captación de energía lumínica.	La luz es capturada en las membranas de los tilacoides, los cuales se encuentran dentro de los cloroplastos. En las membranas tilacoidales están las clorofilas y otros pigmentos que participan en la absorción de la luz, enzimas para el transporte de electrones y el factor de acoplamiento para la formación de ATP. (Salisbury y Ross, 1994).
4-¿El objetivo principal de la	d-Producir $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Esther señala dentro de su discurso que las plantas producen glucosa, así lo muestra en la reacción química que representa el proceso en estudio, además destaca que	Algunas de las moléculas de carbohidrato producidas durante la fase oscura las plantas la utilizan como combustible es el caso de la glucosa. Otras se utilizan

fotosíntesis para la planta es?		la glucosa o savia elaborada se distribuye por toda la planta hasta alimentarla.	en la fabricación de compuestos orgánicos de las células vegetales por ejemplo las proteínas mediante la incorporación de minerales del suelo como nitratos y azufre. (Villegas, Solomon, Davis 1992)
5-¿la fotosíntesis de las plantas constituye un proceso esencial en el desarrollo de la vida por qué?	b- Permite el flujo de la materia y energía en los ecosistemas.	A pesar de no verse reflejado en el discurso textualmente, la profesora evidencia que reconoce la importancia de la fotosíntesis en el flujo de la materia y energía en los ecosistemas.	Los organismos fotosintetizadores también llamados productores, absorben la energía del sol y la convierten en energía química, de esta manera se convierte en biomasa que pasa a los organismos heterótrofos a través de las cadenas alimenticias. (González, 1998).
6-¿de acuerdo al proceso de la fotosíntesis los organismos se clasifican en?	c- Autótrofos como: las plantas, las cianobacterias, algas y algunas bacterias.	Con la respuesta la profesora reconoce que las plantas no son los únicos seres capaces de producir su propio alimento, sin embargo esto no es resaltado en el instrumento de pensamiento en voz alta ni en la representación gráfica.	El grupo de fotoautótrofos incluye además de las plantas, algas eucariotas, varios protistas flagelados y miembros de varios grupos de procariotas. (Berg, 2012).
7- ¿el producto que se elimina durante el desarrollo del proceso de la fotosíntesis es él?	a-Oxígeno.	Esto la profesora lo señala en la ecuación que representa el modelo erudito, al manifestar que son productos y que se libera a la atmósfera para la respiración.	La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se producen alimentos y oxígeno, el oxígeno es el elemento que se elimina al final del proceso. (Barceló 1983)
8-¿el ciclo de Calvin se activa con?		El profesor manifiesta no recordar, por tanto no contesta la pregunta. Al parecer la profesora Esther no conoce sobre el ciclo de Calvin, pues no existe rastro de estos aspectos en su modelo mental explicativo, además deja claro que en la fotosíntesis solo ocurren reacciones en presencia de la luz.	El ciclo de Calvin se lleva a cabo en la etapa de fijación del carbono que ocurre en el estroma del cloroplasto. En el ciclo de Calvin ingresa una molécula de dióxido de carbono en cada vuelta, para elaborar dos moléculas de gliceraldehído fosfato que equivalen a un azúcar de seis carbonos. (Curtis y Barnes 2001)
9-¿internamente, la estructura de la planta que distribuye la materia orgánica, producto de la	c-El floema, la savia elaborada.	El profesor representa en el gráfico, un corte transversal de un tallo, y con flechas negras y rojas indica el ascenso y descenso de la savia bruta por el xilema y savia elaborada por el floema. Esto lo deja ver en las convenciones que usa para explicar.	Los azúcares que se producen de la fotosíntesis, abandonan la hoja a través de un tejido conductor conocido como <i>floema</i> , a través de este conducto las sustancias orgánicas viajan a otras partes de la planta, entre ellas los órganos no fotosintetizantes. (Curtis y Barnes 2001).

**fotosíntesis, se le
conoce cómo?**

**10-¿la fotosíntesis
resulta
beneficiosa para
la humanidad
por?**

a-Favorece el
intercambio
gases y nutrientes.

de

Tanto en la representación gráfica como en el instrumento en voz alta, la profesora Esther destaca con ayuda de flechas el intercambio de gases, mostrando la entrada de dióxido de carbono y liberación del oxígeno, de igual forma la profesora manifiesta la capacidad de la planta para nutrirse, pues alude que la planta produce glucosa o savia elaborada la cual es distribuida por toda la planta, es decir, lo que la planta produce en la fotosíntesis (glucosa) solo serían aprovechados por ellas mismas, sin embargo este aparte solo es nombrado en este tercer instrumento, no es enunciado abiertamente en los instrumentos ya mencionados.

La importancia de la fotosíntesis estriba; desde varios puntos de vista químico, en la transformación de la energía luminosa en energía de enlace; desde el punto de vista biológico, en que casi toda la biomasa de la biosfera deriva de ella; desde el punto de vista ecológico, en su efecto sobre los cambios climáticos; desde el punto de vista económico como fuente de alimentación y materia prima para la industria; y desde el punto de vista evolutivo, como factor determinante en la formación de la vida tal y como la conocemos actualmente. *“Ibid.”*,
